VISÃO COMPUTACIONAL

AULA 1

Prof. Leonardo Gomes

CONVERSA INICIAL

Nesta aula, faremos uma introdução à visão computacional na área da computação, com uma visão geral das suas aplicações, sempre com foco em imagens. Ao longo da aula prática, vamos aprender sobre a formação das imagens e sobre a preparação do ambiente com a instalação de uma das principais bibliotecas para o processamento de imagens e visão computacional, a OpenCV.

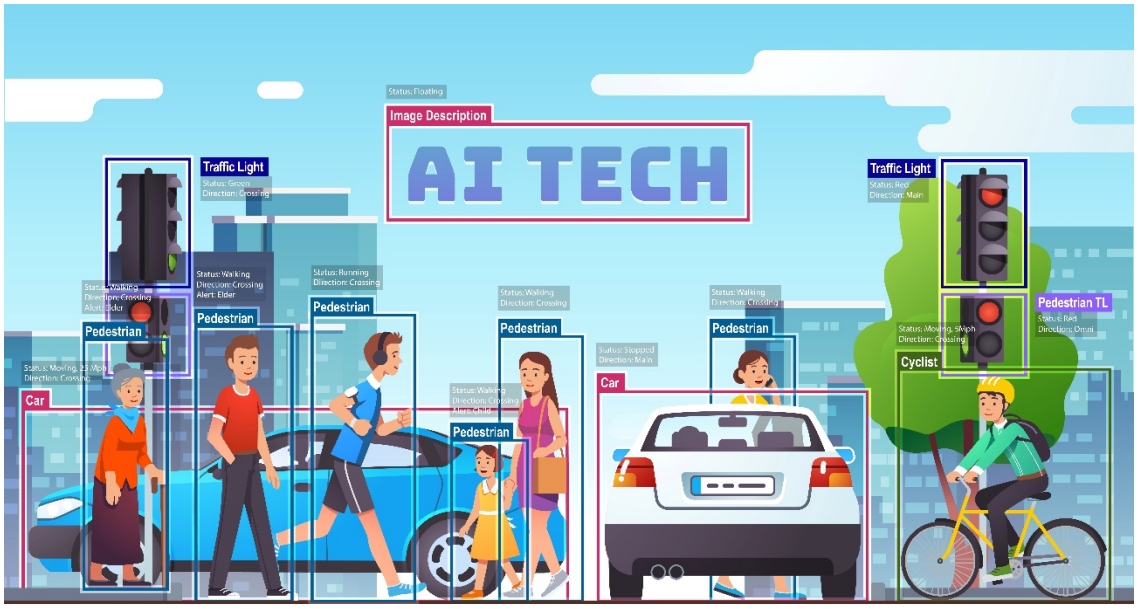
Ao final da aula, esperamos atingir os seguintes objetivos, que serão avaliados ao longo da disciplina da forma indicada:

- Saber diferenciar os objetivos das áreas de processamento de imagens, computação gráfica e visão computacional
- Conhecimento inicial sobre instalação e utilização da biblioteca OpenCV
- Conhecimento sobre geração, representação e formatação de imagens

TEMA 1 – INTRODUÇÃO DA VISÃO COMPUTACIONAL

Visão computacional, em linhas gerais, é a área capaz de transformar imagens em informações úteis. Na indústria, na área médica, na robótica, dentre outras áreas, são muitas as aplicações que necessitam de uma máquina capaz de processar imagens e extrair delas informações importantes. Em um mundo no qual as câmeras estão cada vez mais presentes no cotidiano, a demanda por profissionais capazes de atuar na área também cresce. A Figura 1 ilustra uma aplicação comum da visão computacional, em especial no campo da robótica: classificação de objetos na imagem.

Figura 1 – Aplicação de visão computacional com os componentes de uma imagem



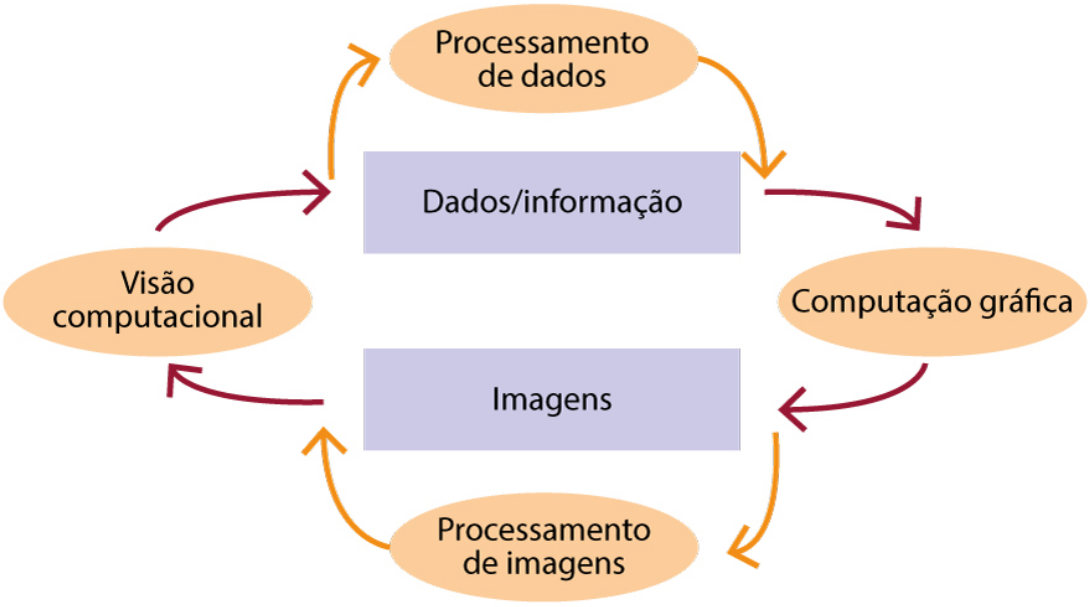
Crédito: Iconic Bestiary/Shutterstock.

Na literatura, classificamos em diferentes áreas correlatas as técnicas que envolvem o trabalho com imagens, dependendo do tipo de dado de origem e do destino da aplicação.

- **Processamento de dados**: ocorre quando partimos de uma informação ou dado genérico e geramos outra informação. Por exemplo, calcular a média aritmética dos números de uma planilha eletrônica.
- **Computação gráfica**: também partimos de um conjunto de dados com a finalidade de produzir uma imagem 2D/3D ou um conjunto delas. Por exemplo, a animação de um personagem de jogo eletrônico.
- **Processamento de imagens**: ocorre quando partimos de uma imagem, realizamos um processamento sobre ela, para então obter outra imagem como resposta. Por exemplo, a aplicação de um filtro com uma imagem borrada.
- **Visão computacional**: também ocorre quando partimos de uma imagem, mas agora com a finalidade de extrair alguma informação. Por exemplo, a identificação automática de uma pessoa por uma imagem de seu rosto.

A Figura 2 ilustra a correlação das diversas áreas ligadas a computação e imagens.

Figura 2 – Representação esquematizada da classificação das áreas correlatas das técnicas que envolvem o trabalho com imagens



Fonte: Albuquerque, 1999.

1.1 Campos de estudos da visão da computacional

A visão computacional surge com a contribuição de técnicas de diversos campos de estudo, com especial destaque para a matemática, considerando a inteligência artificial e o processamento de imagens.

A matemática é a base da representação das imagens que são lidas e tidas como matrizes. Portanto, a matemática matricial, a álgebra linear e a geometria analítica encontram espaço para a correta leitura e transformação das imagens. A estatística também encontra um espaço significativo para a análise das informações obtidas.

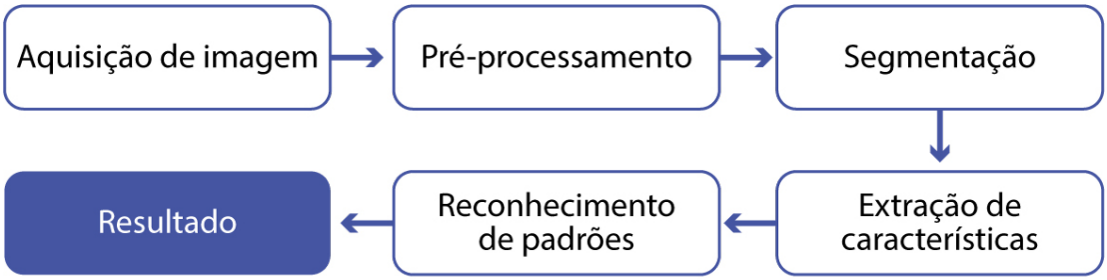
A inteligência artificial é outra parceira importante da visão computacional para a automação de reconhecimento de sinais e padrões em imagens, que de outro modo não seriam facilmente parametrizados.

O processamento de imagens também é muito importante, especialmente para o tratamento e a segmentação das regiões de interesse da imagem.

1.2 Principais etapas da visão computacional

Embora cada aplicação apresente as suas peculiaridades, em linhas gerais as soluções em visão computacional para a automação de tarefas seguem um fluxo comum, representado pela Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das etapas de um sistema de visão computacional



Fonte: Barelli, 2019.

- **Aquisição de imagens**: etapa na qual define-se um sensor adequado para a captação da imagem. A imagem com a qual se trabalha pode ser bidimensional, tridimensional, vídeo, imagem de calor, de profundidade, entre outras.
- **Pré-processamento:** com frequência, as imagens capturadas não estão prontas para a análise que se deseja realizar. Em geral, é necessário corrigir o contraste, atenuando o borramento, dentre outros tratamentos na imagem de entrada para posteriormente facilitar a obtenção de informações pelo sistema.
- **Segmentação:** nesta etapa, identificamos a região de interesse da imagem. Se trabalhamos, por exemplo, com o reconhecimento facial de um indivíduo em uma foto, a segmentação implicaria selecionar a área da imagem com o rosto e eliminar o fundo da imagem.
- **Extração de características:** uma vez que obtemos a região de interesse, extraímos as características pertinentes da imagem. Ainda no exemplo do reconhecimento facial, a extração de características poderia ser a obtenção das medidas biométricas, como distância entre os olhos, boca e nariz, tons de cor presentes na pele e olhos etc.
- **Reconhecimento de padrões:** por fim, nesta etapa, já com as características do objeto, resta identificar os padrões, o que pode ser feito a partir de uma base de dados previamente cadastrada. No caso do

exemplo do reconhecimento facial, seria o momento de buscar a identidade do indivíduo cadastrado que apresente maior similaridade com os dados capturados.

Feita essa breve introdução, estamos suficientemente contextualizados para nos aprofundar no conhecimento de cada uma das etapas citadas. No tema seguinte, vamos falar sobre a aquisição de imagem e os diferentes tipos de sensores.

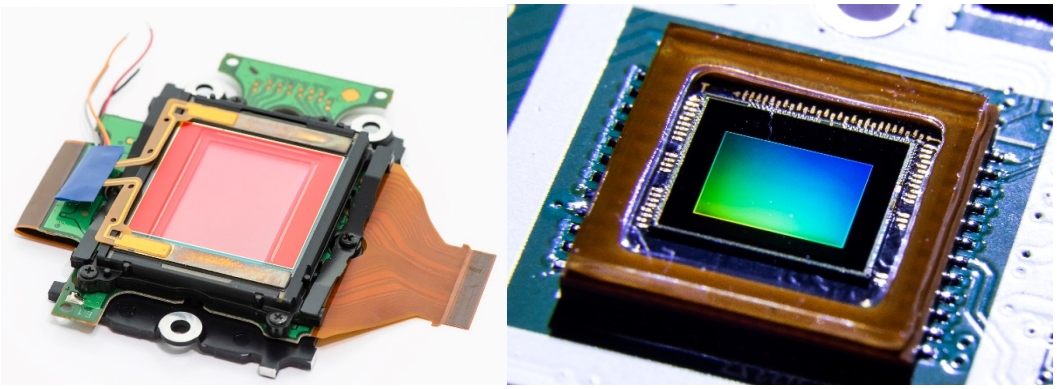
TEMA 2 – AQUISIÇÃO DE IMAGEM

Por definição, uma imagem é a representação de um objeto, pessoa ou cena. Quando pensamos em uma foto, a representação geralmente é feita através de uma combinação de cores representadas em uma grade bidimensional. Cada ponto na imagem, chamado de **pixel**, carrega uma informação própria de cor.

2.1 Câmeras digitais

Os sensores mais comumente utilizados nas câmeras digitais são chamados em inglês de *charge-coupled device*, o que costuma ser referenciado apenas pela sigla CCD, e *complementary metal–oxide–semiconductor*, mais conhecido pelo nome comercial CMOS. Os sensores em questão são apresentados na Figura 4. As duas tecnologias incluem chips que apresentam milhões de semicondutores, organizados em uma grade bidimensional, capazes de transformar luz em sinal elétrico. Se um dos semicondutores capturou muita luz, ele vai gerar uma cor mais clara naquele ponto; aqueles que capturaram menos luz vão gerar cores mais escuras.

Figura 4 – Sensor CCD de uma câmera digital (esquerda) e sensor CMOS da câmera de um celular (direita)



Créditos: ashakyu; KenSoftTH / Shutterstock.

É importante observar que a cor que vemos nos objetos é o reflexo da luz em uma superfície observada por nossos olhos. A visão humana é tricromática, ou seja, é sensível às cores primárias (vermelho, verde e azul). A combinação das cores primárias em diferentes intensidades gera todas as outras. Os sensores das câmeras seguem o mesmo princípio. Eles são equipados com filtros que dividem a luz nos três canais de cor, fazendo com que parte dos semicondutores capturem sinais elétricos gerados apenas pelas intensidades luminosas de verde, vermelho ou azul. A combinação dessas diferentes cargas ao longo da grade de semicondutores é traduzida em uma imagem.

Os chips CCD e CMOS, embora desempenhem a mesma atividade, utilizavam técnicas diferenciadas. O CMOS, em suas primeiras versões, gerava imagens mais ruidosas. No entanto, por ser menor, utilizava menos energia. Além disso, por ser mais barato de fabricar, recebeu mais atenção dos desenvolvedores e investimento em pesquisa. Hoje em dia, os sensores CMOS modernos são compatíveis em qualidade com o CCD, que vem sendo comercialmente deixado de lado.

2.2 Demais sensores

Existem outros sensores e técnicas capazes de gerar imagens, ainda que não sejam baseados na luz. Dentre os mais importantes, vale citar:

- **Sensor de ultrassom:** dispositivos que geram imagens baseadas no eco causado por um emissor de altíssima frequência de ondas ultrassônicas. O equipamento tem duas partes principais: um emissor de ondas e um

receptor. Quanto maior a demora para que o receptor capte o reflexo de uma onda enviada em certa região, mais escura será a imagem naquele dado ponto. Assim, é possível visualizar o contorno dos objetos. Com emissão de ondas em diferentes frequências, essa tecnologia é muito adotada na medicina para imageamento de regiões internas dos corpos e sonares para a navegação e o mapeamento submarino.

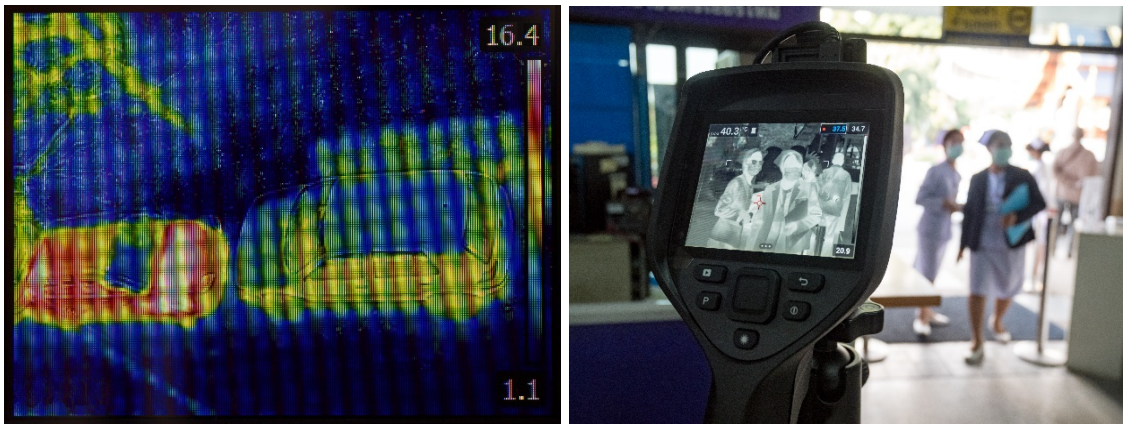
Figura 5 – Renderização de um ultrassom de um bebê no útero da mãe (esquerda) e mapeamento submarino por sonar da marca Raymarine Dragonfly (direita)



Créditso: GagliardiPhotography; ilmarinfoto / Shutterstock.

- **Sensor de infravermelho:** tais sensores são capazes de detectar o calor emitido pela superfície dos objetos, pois captam a radiação infravermelha que emitem. Essa radiação é invisível ao olho humano, sendo geralmente utilizada em câmeras de visão noturna, mesmo sem qualquer iluminação.

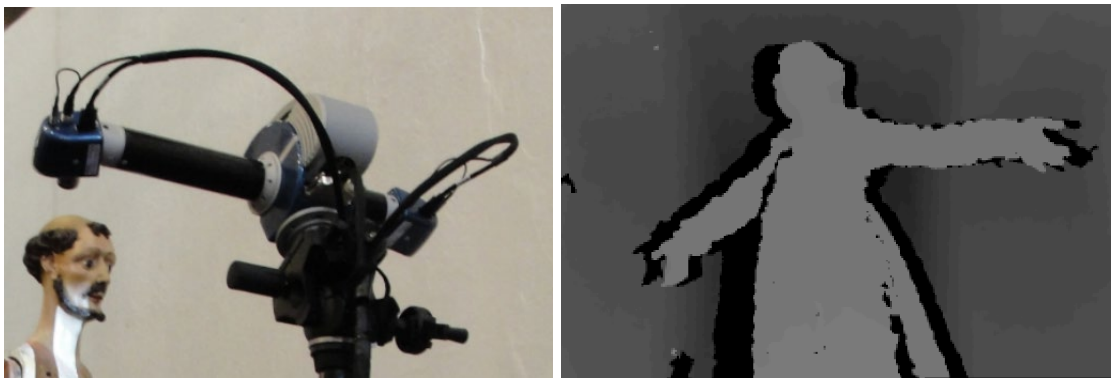
Figura 6 – Imagem infravermelho de dois carros (esquerda) e câmera termal para controle de acesso hospitalar (direita)



Crédito: Dario Sabljak; Ruchuda Boonplien / Shutterstock.

- **Luz estruturada:** técnica adotada principalmente no mapeamento tridimensional de superfícies. Um emissor lança sobre a cena um padrão de luz infravermelho, enquanto um sensor faz a filmagem. Dependendo da distorção gerada no padrão emitido, é gerada uma imagem de profundidade, semelhante ao ultrassom. Pontos que estiverem mais próximos ou distantes assumem uma tonalidade mais clara ou escura, respectivamente. Dentre as aplicações, podemos citar a modelagem 3D de objetos reais e a captura de movimento.

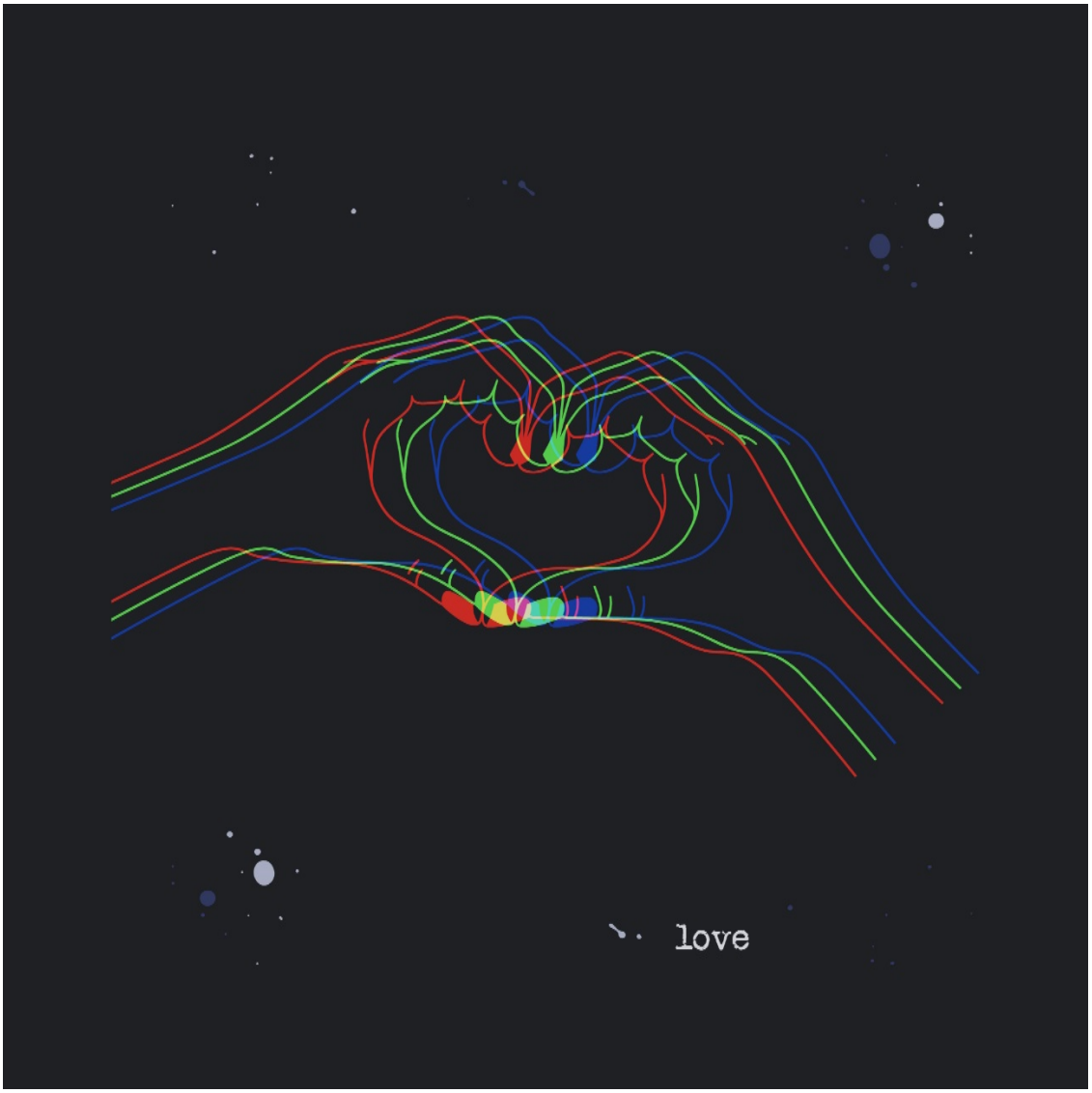
Figura 7 – Sensor de luz estruturada smartscan 3D captando uma imagem de profundidade (esquerda) e um exemplo da imagem de uma escultura produzida pelo sensor (direita)



Fonte: Leonardo Gomes.

- **Visão estéreo:** também é aplicada no mapeamento tridimensional de superfícies. Essa técnica imita a visão humana, detectando a diferença de posicionamento entre pontos na imagem. Quanto maior a diferença no posicionamento de um dado ponto entre as duas imagens, mais próximo aquele ponto está do sensor. Com base nessa diferença entre os pontos, pode ser produzida uma imagem de profundidade. Aplicada em sensores de distância e navegação robótica.

Figura 8 – Exemplo de imagem estereoscópica renderizada em vermelho (visão do sensor da esquerda) e verde (visão do sensor da direita)



Créditos: arvitalyaart/Shutterstock.

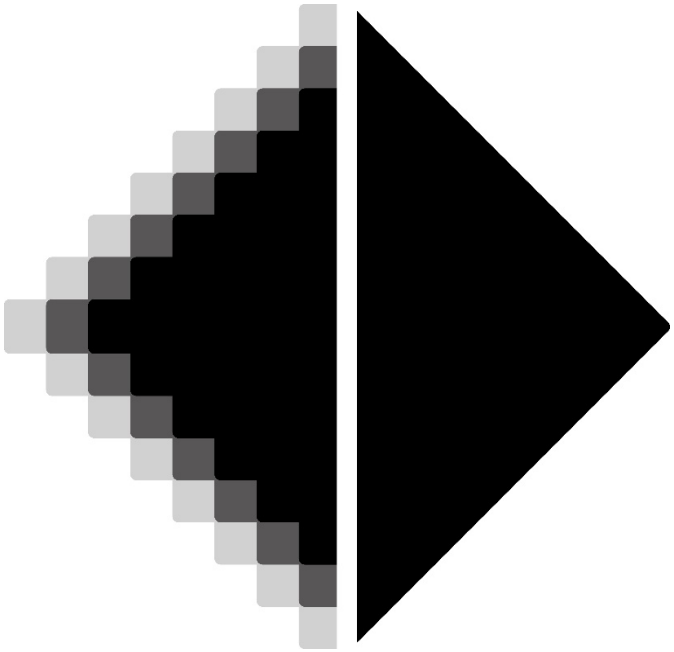
No próximo tema, vamos estudar a resolução e a quantização de imagens.

TEMA 3 – RESOLUÇÃO E QUANTIZAÇÃO DE IMAGENS

Quando falamos na resolução de uma imagem, estamos nos referindo à quantidade de informação utilizada para que ela seja representada. Se pensamos na imagem analógica que chega ao sensor, ela apresenta uma quantidade infinita de informação, que deve ser reduzida para uma quantidade finita de pixels. Esse processo é chamado de *amostragem*. A informação de cada pixel também deve ser arredondada (discretizada) para um valor específico, processo chamado de *quantização*.

Toda imagem digital é uma grade bidimensional; A quantidade de linhas e colunas presentes nessa imagem é a sua resolução. Na Figura 9, temos o mesmo triângulo representado em 8 pixels na linha e 16 pixels na coluna (8x16) ao lado de sua versão espelhada, representada por 200x400 pixels. Na imagem da direita os quadrados serrilhados são praticamente imperceptíveis sem aplicação de zoom. Essa imagem ilustra bem o processo de amostragem.

Figura 9 – Dois triângulos em diferentes resoluções



Créditos: Vector street/Shutterstock.

Cada quadrado na grade pode armazenar apenas uma informação de cor. Portanto, quanto mais pixels, mais detalhada será a imagem, porém ela ocupará mais espaço na memória.

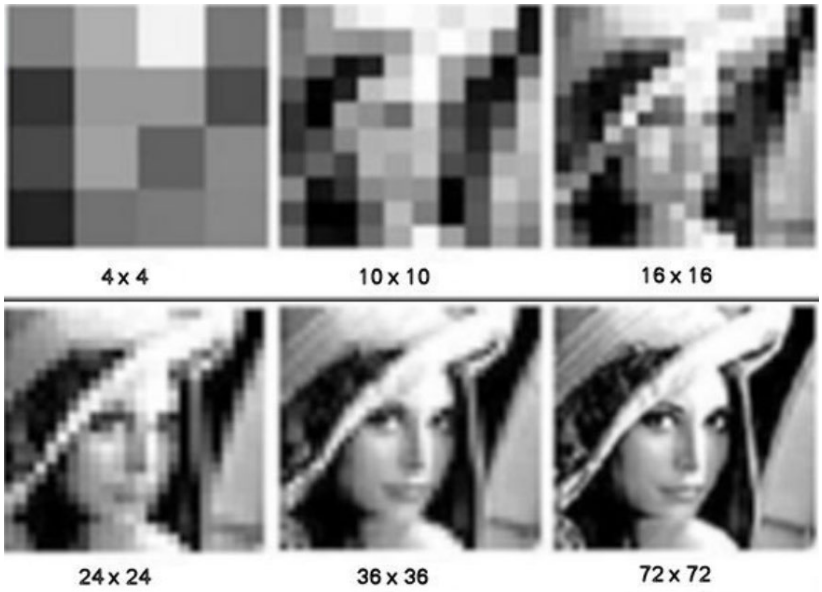
Os sensores digitais CCD e CMOS apresentam uma grade bidimensional de semicondutores sensíveis à luz. Cada um deles é capaz de produzir a informação referente a um pixel. Porém, a imagem posterior, via software, pode ser alterada para aumentar ou diminuir a resolução, via um processo de amostragem chamado no inglês, respectivamente, de *upscale* e *downscale.*

Podemos definir três tipos de resolução: resolução espacial, que diz respeito à amostragem de pixels na imagem; resolução de bit, que diz respeito à quantização de cada pixel, quantas cores ele possivelmente representa; e a resolução temporal, aplicada no caso dos vídeos.

3.1 Resolução espacial

A resolução espacial, ou resolução de pixel, relaciona-se com a amostragem da imagem. Quanto mais pixels, maior a resolução espacial, com maior quantidade de detalhes. A Figura 10 ilustra bem esse ponto: quanto maior a amostragem, mais detalhes ficam perceptíveis na foto.

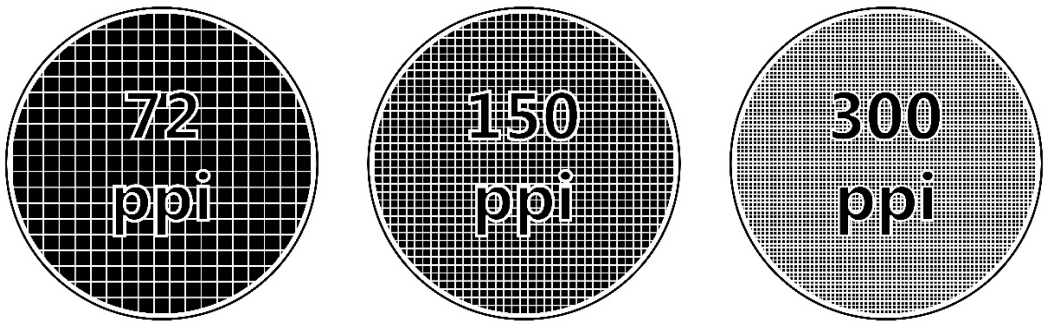
Figura 10 – Foto em diversas resoluções



Fonte: Apteacher, 2017.

Existem diversas formas de medir a resolução dos pixels. Destaque para os pixels por espaço de unidade, especialmente os pixels por polegada, o que é mais amplamente conhecido pela sigla inglês PPI, *pixels per inch.* Quanto mais pixels existem dentro do espaço de uma polegada, mais informações a imagem carrega. A Figura 11 demonstra isso.

Figura 11 – Diferentes resoluções em PPI



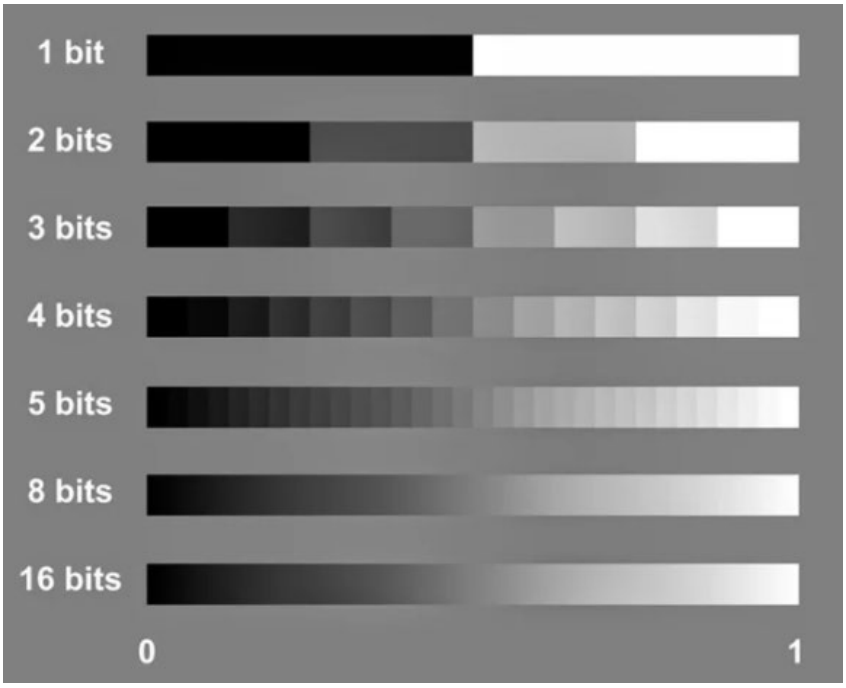
Créditos: Bro Studio/Shutterstock.

Também é bastante popular referenciar a resolução de uma imagem pela quantidade de linhas e colunas presentes – 640x480 pixels, por exemplo. Comercialmente, também é popular o termo megapixel, em referência ao total dos pixels da imagem na casa dos milhões – 8 megapixels equivalem a 8 milhões de pixels.

3.2 Resolução de bit

A resolução de bit, mais conhecida pelo termo em inglês *bit depth*, define a quantidade de memória, bits, adotada para representar cada pixel individualmente. Uma imagem que utiliza apenas 1 bit por pixel será uma imagem em preto e branco. Pixels com valor 0 são pretos e pixels com valor 1 são brancos. Já uma imagem com 8 bits, 1 byte, é capaz de representar 2 elevado a 8 tons de cinza, ou seja, 256 tonalidades diferentes, de 0 até 255, sendo 0 preto, 255 branco e os valores intermediários tons de cinza mais ou menos claros. Esse valor de 8 bits é o mais tradicionalmente utilizado para imagens em tons de cinza. No caso de imagens coloridas, geralmente temos 1 byte para cada um dos três canais de cores primárias – 1 byte para vermelho, 1 byte para verde e 1 byte para azul, totalizando 24 bits. A combinação dessas 3 informações resulta em todas as outras cores. Quanto maior a quantidade de bits utilizados para representar as cores, mais detalhadas elas se tornam, e mais memória a imagem vai ocupar para ser armazenada. A Figura 12 demonstra essa escala de cores por *bit depth*.

Figura 12 – Escala com as tonalidades de cinza a depender da quantidade de bits por pixel



Fonte: Teledyne Lumenera, 2016.

3.3 Resolução temporal

A resolução temporal é outra forma de resolução relativa à captura de imagens sequenciais em vídeo. Um vídeo é uma sequência de imagens estáticas que, quando exibidas em rápida sucessão, passam a impressão de que se trata de uma cena animada. Para média a resolução temporal, mensuramos a quantidade de cenas capturadas ou exibidas no intervalo de um segundo. A sigla em inglês FPS, *frames per second*, é a denominação comercial mais comumente utilizada.

No próximo tema, vamos nos aprofundar na questão das cores e suas formas de representação.

TEMA 4 – CORES E SUAS REPRESENTAÇÕES

Embora já tenhamos discutido um pouco sobre a representação das cores nas imagens digitais, é importante considerar mais a fundo as suas representações. Na visão computacional, trabalhamos principalmente com três tipos de representação:

- **Imagens binárias:** a forma mais fácil de representar imagens. Basicamente, temos um bit indicando se o pixel é preto, valor 0, ou branco, valor 1. Essa representação é muito útil na etapa de segmentação, quando desejamos por exemplo delimitar a nossa região de interesse, ou quando apenas as curvas do objeto nos interessam.
- **Imagens em tons de cinza:** neste formato, cada pixel é geralmente representado por 8 bits – 1 byte, indo de 0, cor preta, até 255, cor branca, considerando que valores intermediários são tons de cinza mais escuros ou claros, dependendo da proximidade ao 0 ou ao 255, respectivamente. É possível representar tons de cinza com mais ou menos bits, porém pela compatibilidade com os principais formatos mais populares de arquivos de imagem na grande maioria das vezes são adotados 8 bits. O formato em tons de cinza é muito útil na visão computacional, pois ocupa-se menos espaço de memória. Além disso, eles são mais rápidos e simples de se ler do que a contraparte colorida, o que é especialmente vantajoso para aplicações em tempo real. Diversas tarefas dispensam cores na imagem. Por exemplo, para detectar objetos pelo formato, basta que os tons de cinza identifiquem os contornos. As imagens em tons de cinza também servem para representar imagens de profundidade capturadas por sensores que mapeiam superfícies: quanto mais claro o pixel, mais próximo o ponto da imagem está do sensor. Além disso, são utilizados sensores infravermelhos, que ao invés de intensidade luminosa representam a temperatura da cena.
- **Imagens coloridas RGB:** semelhante a imagens em tons de cinza, as imagens coloridas geralmente utilizam 1 byte para representar cada um dos três canais de cores primárias, vermelho (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*), geralmente referenciados pelas iniciais das cores em inglês, ou seja, RGB. Assim, uma imagem colorida RGB ocupa 3 vezes a memória de uma imagem em tons de cinza, ocupando 24 bits por pixel. Considerando uma visão computacional, além do RGB, o formato HSV também é muito importante, de modo que será discutido em detalhes na sequência.

  Na Figura 13 temos três imagens ilustrando as três representações.

Figura 13 – Representação da mesma foto em preto e branco, tons de cinza e colorida



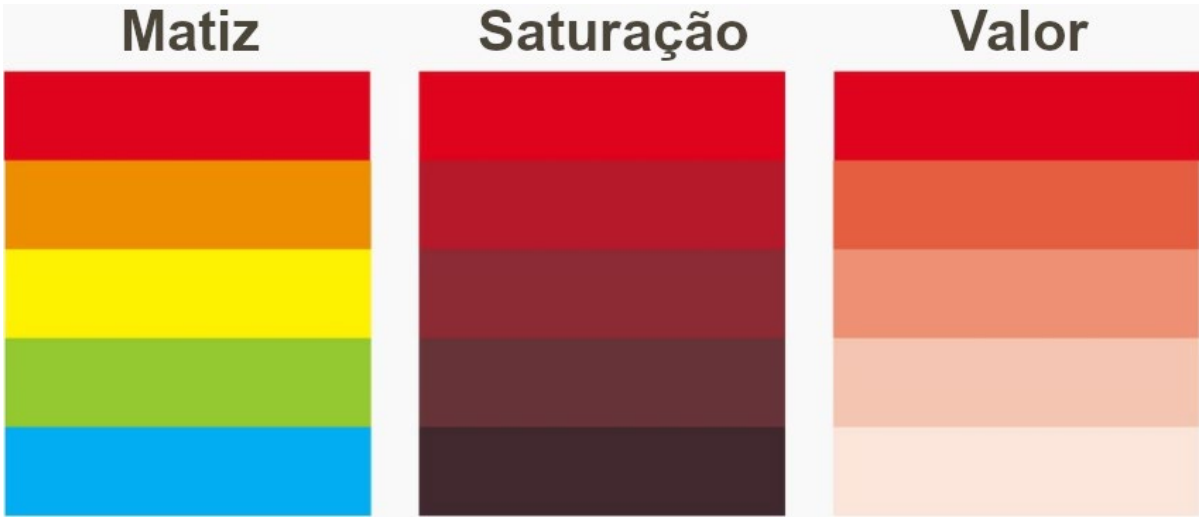
Créditos: Goran Jakus/Shutterstock.

4.1 Espaço de cor HSV

O RGB é um modelo importante de representação de cores, por ser adotado nos principais formatos de arquivos e dispositivos, como monitores e os próprios sensores. Porém, não é o único. Dentro da visão computacional, é muito comum converter as imagens do espaço de cores RGB para um outro modelo, i HSV, sigla que vem dos termos em inglês para matiz (*hue*), saturação (*saturation*) e valor (*value*). Esse espaço de cor também é conhecido pela sigla do inglês HSB, matiz (*hue*), saturação (*saturation*) e brilho (brightness). No entanto, existe outro espaço de cor, chamado HSL, com funcionamento um pouco diferente, embora a sigla seja semelhante e venha do inglês para matiz (*hue*), saturação (*saturation*) e iluminação (*lightness*). O modelo HSV/HSB é

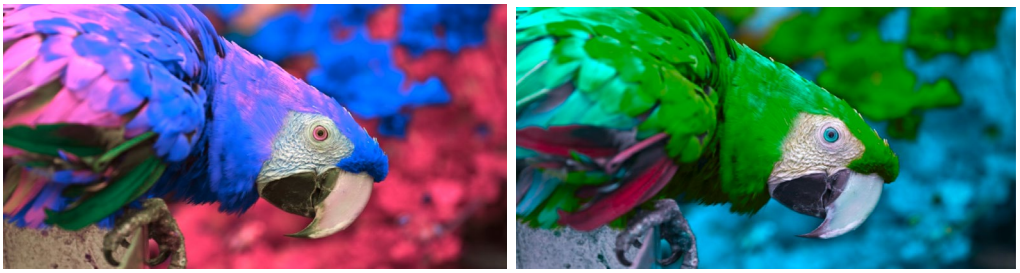
muito importante em uma grande gama de aplicações, pois separa a representação da cor da iluminação. Semelhante ao RGB, ele também é um modelo em componentes, que serão discutidos em detalhes na sequência.

Figura 14 – Ilustração de como cada componente do modelo HSV afeta a cor



O componente chamado **matiz** é uma variante diretamente ligada à tonalidade da cor. Por exemplo, uma maçã de cor vermelha, a depender da luminosidade, pode ter uma aparência bem distinta, mas ela ainda sim é “essencialmente” vermelha. A matiz armazena a informação da tonalidade em "essência", seja ela vermelha, verde, azul ou qualquer outra cor.

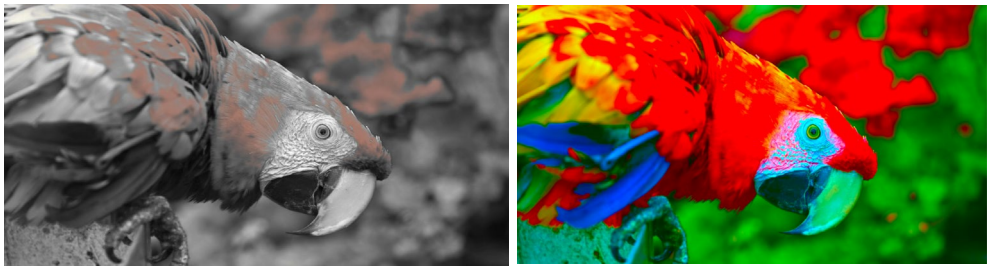
Figura 15 – Efeito da matiz sobre a imagem: redução de 50% (primeira) e incremento de 50% (segunda)



Créditos: Goran Jakus/Shutterstock.

A **saturação** diz respeito à intensidade da cor. Um valor baixo de saturação confere um aspecto “acinzentado”, enquanto um valor alto torna a cor mais “viva”. Inclusive, a forma de cálculo da saturação é a proporção de cinza que compõe a cor. Esse atributo também é conhecido como grau de pureza da cor.

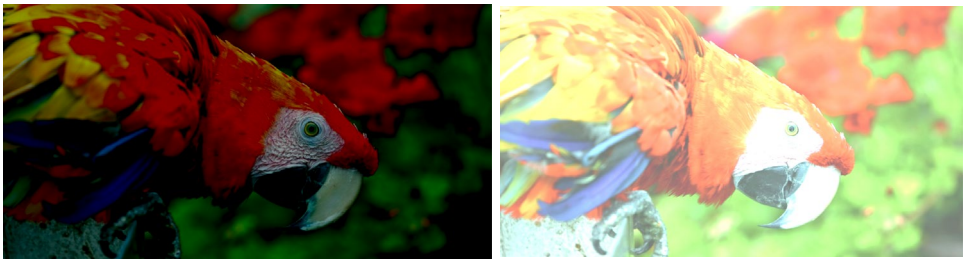
Figura 16 – Efeito da saturação sobre a imagem: redução de 50% (primeira) e incremento de 50% (segunda)



Créditos: Goran Jakus/Shutterstock.

O componente **valor** também pode ser chamado de *brilho.* Refere-se à luminosidade do pixel, à clareza. Valores baixos ou altos indicam valores mais próximos do preto ou do branco, respectivamente.

Figura 17 – Efeito do valor/brilho sobre a imagem: redução de 50% (primeira) e incremento de 50% (segunda)



Créditos: Goran Jakus/Shutterstock.

Fechando esta aula, no próximo tema vamos debater as diferentes formatações de arquivos de imagem.

TEMA 5 – FORMATOS DE IMAGEM

Até aqui, discutimos formas de representar as imagens. Neste tema, vamos debater os formatos de armazenamento dessas imagens em arquivos. Vamos tratar apenas dos formatos bidimensionais mais amplamente adotados e de suas vantagens e peculiaridades.

O formato **BMP** foi desenvolvido pela Microsoft, sendo conhecido por duas siglas distintas do inglês: Device Independent Bitmap (DIB) e Windows Bitmap (BMP). A sigla BMP é a mais comum.

Para a simples visualização de um arquivo de imagem, não é necessário armazenar todos os pixels, pois é possível aplicar uma compressão nos dados de forma que uma parte pequena das informações original se perde, gerando em compensação um arquivo que potencialmente ocupa bem menos espaço em disco.

No caso dos arquivos BMP, na maioria das vezes não é adotado nenhum tipo de compressão nos dados. Assim, é um formato popular para aplicações em que não se deseja perder nenhuma informação. Ele permite a configuração da quantidade de bits que se deseja utilizar para representar cada pixel. Se configuramos, por exemplo, cada pixel com 24 bits, 8 bits por canal de cor, considerando uma imagem de 640x480 pixels, podemos facilmente multiplicar os valores e chegar na informação de que essa imagem vai utilizar 7372800 bits ou 921600 bytes, ou seja, algo próximo de 1 Mb sem nenhuma compressão.

Já o formato **JPEG** é acrônimo do inglês para Joint Photographic Experts Group. Como o nome sugere, foi desenvolvido por um grupo de mesmo nome, que pensou no formato para a compactação de imagens fotográficas no início dos anos 80.

O termo JPG também é usado em versões mais antigas do Windows, quando era permitido usar apenas 3 letras para a extensão de arquivos. Hoje, as duas extensões são amplamente adotadas, mas não existe diferença – tanto imagens com extensão JPG como JPEG são produzidas pelo mesmo algoritmo desenvolvido pelo JPEG.

Esse formato, por apresentar uma taxa de compactação bastante significativa, mesmo sem perder detalhes notáveis, se tornou muito popular para a transmissão de imagens pela internet. Outra vantagem é que o seu algoritmo permite a parametrização da qualidade/compactação, valendo-se do fato de que o olho humano não é capaz de distinguir as milhões de combinações de cores possíveis de criar com 24 bits de memória.

O formato **GIF** é acrônimo do inglês para Graphics Interchange Format. Ele foi desenvolvido por uma companhia chamada CompuServe no final dos anos 80. Permite a compactação de imagens coloridas, porém limitada a um conjunto pequeno de 256 possíveis combinações de cores, incluindo transparência. É um formato inviável para fotografias, mas bastante adequado para pequenos ícones. O formato também é capaz de armazenar diversas imagens simultaneamente permitindo gerar animações que também se popularizaram bastante na internet.

O formato **PNG**, por sua vez, é acrônimo do inglês Portable Network Graphics. Foi desenvolvido pela W3C, a entidade mais importante de padronização da World Wide Web. Em meados dos anos 90, o formato surgiu em resposta ao GIF, que havia sido patenteado em 1995 (todas as patentes relevantes expiraram em 2004), restrito a um conjunto bastante limitado de cores. O formato PNG não gera o mesmo nível de compactação do JPEG, mas é capaz de gerar compactação dos dados sem perda, com maior fidelidade em relação à imagem original. O formato não é capaz de reproduzir animações como GIF, mas permite o uso de transparência.

O formato **TIFF** é acrônimo do inglês Tagget Image File Format. Ele foi desenvolvido pela Aldus no final dos anos 80, mas hoje é de propriedade da Adobe, que o utiliza em softwares como o Photoshop. É um formato que utiliza pouca/nenhuma compressão. Além disso, permite transparência. Por conta disso, se popularizou em trabalhos com edição de imagens e impressão de alta resolução.

FINALIZANDO

Nesta aula, demos o primeiro passo para compreender a área da visão computacional. Desenvolvemos uma introdução a esse importante campo de estudos, analisando como as imagens são geradas, representadas e formatadas. Afinal, este é justamente o foco de estudos deste campo: buscamos

tirar informações úteis das tais imagens, geradas pelos mais diferentes tipos de sensores.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. P. de. Visão por computador: conceitos básicos. **CBPF**, 1999. Disponível em: <http://www.cbpf.br/cat/pdsi/visao/index.html>. Acesso em: 20 dez. 2021.

APTEACHER. **Steemit**, 2017. Disponível em: <https://steemit.com/photography/@apteacher/photography-pixels-and-resolution>. Acesso em: 20 dez. 2021.

BARELLI, F. **Introdução à visão computacional**. 1. ed. São Paulo: Casa do Código, 2019.

TELEDYNE LUMENERA. Scientific Imaging: What is the Bit Depth of a Camera? **Azo Optics**, 26 dez. 2016. Disponível em: <https://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=1151>. Acesso em: 20 dez. 2021.