

Synergismus scyentifica UTFPR

XIII ERMAC

Mini Curso

**MATEMÁTICA NO AMBIENTE DIGITAL:
IMAGENS E TV**

Marcelo H. Stoppa

Departamento de Matemática – *Campus Catalão* - UFG

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pato Branco, setembro de 2009

Conteúdo

1 Introdução	04
2 Campos de Aplicação do Processamento de Imagens Digitais	08
2.1 Raios Gamma	09
2.2 Raios – X	09
2.3 Ultravioleta	10
2.4 Faixas de Luz Visível e Infravermelha	11
2.5 Faixa de Microondas	12
2.6 Faixa de Rádio	12
3 Processos de Aquisição de Imagens	13
3.1 Estrutura do Olho Humano	13
3.2 Aquisição e Absorção de Imagem	14
3.2.1 Sensor Simples	14
3.2.2 Faixa de Sensores	15
3.2.3 Matriz de Sensores	16
3.3 Evolução das Câmeras Fotográficas	16
4 Fundamentos de Imagens Digitais	18
4.1 Contínuo x Discreto	19
4.2 Discretização Espacial	20
4.3 Resolução Espacial	21
4.4 Armazenamento e Compressão	21

5 Imagens Coloridas	23
5.1 Modelos de Cores	24
5.1.1 Modelo RGB	25
5.1.2 Modelos CMY e CMYK	25
5.1.3 Modelo HSI	26
5.2 Conversão de Cores de RGB para HSI	28
5.3 Conversão de Cores de HSI para RGB	29
5.4 Aplicação de Pseudo-Cores	29
5.5 Suavização de Imagens Coloridas	30
5.6 Aumento de Imagens Coloridas	31
6 TV Digital	32
6.1 História da TV	33
6.1.1 A TV Colorida	35
6.1.2 TV no Brasil	36
6.2 DTV, SDTV e HDTV	37
6.3 Entrelaçado (i) x Progressive Scan (p)	38
6.4 O Espaço de Cores	39
6.5 Tecnologias de Exibição	40
6.5.1 Vantagens do LCD Sobre o Plasma	41
6.5.2 Cabos e Conectores	42
Conclusões	43
Referências	44

Capítulo 1

Introdução

O desenvolvimento tecnológico que se mostra cada vez mais rápido, em geral, acontece motivado por necessidades da indústria e comércio. A história das imagens digitais começou a ser escrita no início do século XX, quando as notícias, e principalmente as imagens, eram aguardadas por uma população cada vez mais ansiosa por novidades. De acordo com McFarlane [22] uma das primeiras aplicações das imagens digitais foi na indústria de jornais, quando figuras eram enviadas por meio de um cabo submarino entre Londres e Nova York. Este sistema de 1920, denominado Bartlane, reduzia o tempo de transmissão, que antes levava uma semana para atravessar o Atlântico, para menos de três horas. De um lado, um equipamento de impressão específico codificava as imagens para que elas fossem transmitidas via cabo. Do outro, um equipamento semelhante, recebia os dados codificados, e os decodificava de modo a reimprimir a imagem. A Fig. 1 foi transmitida por meio de cabos e reproduzida numa impressora telegráfica que continha caracteres que simulavam padrões de tons intermediários.



Figura 1 – Imagem digital produzida em 1921, transmitida via cabos e reproduzida por uma impressora telegráfica dotada de caracteres especiais [22]

O nome Bartlane é uma fusão dos nomes de seus dois inventores, Mr. Bartholomew e o Capitão Macfarlane, ambos do Daily Mirror de Londres, na Inglaterra. No final de 1921 a técnica de impressão por caracteres que imitavam tons intermediários, foi substituída por uma técnica que misturava técnicas fotográficas com fitas perfuradas de transmissores telegráficos. A base do sistema Bartlane era a chamada fita de Baudot. Este tipo de fita era o mais utilizado nos sistemas de impressão telegráfica automatizado, pelos americanos e ingleses. Esta fita consiste [1] de uma guia de buracos central com 3 buracos de um lado desta guia e 2 buracos do outro (Fig. 2).

A combinação de certos buracos transmitia determinados impulsos, os quais atuavam as chaves de uma máquina impressora na estação de recepção. O sincronismo era efetuado pela guia central de buracos. Neste sistema de transmissão, primeiramente o objeto da transmissão era fotografado. Com o filme negativo,

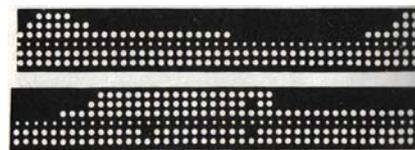


Figura 2 – Fitas de Baudot, utilizadas na transmissão de imagens pelo sistema Bartlane

eram produzidas 5 placas matiz, utilizando-se 5 diferentes períodos de exposição. A primeira placa era exposta 2 segundos, a segunda placa, 4 segundos, e assim por diante. Estas placas eram feitas de zinco com certa quantidade de material isolante colocado em sua superfície, proporcionando a característica de produção de tons intermediários. A quantidade de isolante aumentava de acordo com o aumento da exposição que a placa era submetida. Estas cinco placas eram acopladas a um cilindro girado por um motor e sincronizado com o equipamento perfurador da fita. Cada uma das cinco placas possuía um contato elétrico que acionava um perfurador magnético específico, quando uma parte que não possuía isolamento tocava o sensor. Em cada unidade de comprimento da fita, existia um espaço para cada um dos 5 perfuradores, comandados pelos sensores que funcionavam em contato com as cinco placas matiz, podendo efetuar um furo. Desta forma os valores tonais da imagem a ser transmitida eram convertidos em impulsos elétricos pelos sensores das placas matiz e então eram registrados na fita de transmissão. Quando existia um ponto completamente sem isolamento nas 5 placas, os 5 sensores acionavam todos os perfuradores magnéticos e 5 furos eram executados na fita. Como os cilindros rodavam de forma espiral, todas as seções da imagem eram cobertas pelo sistema e sua correspondente codificada era perfurada na fita. Usando-se esta fita, sinais eram transmitidos por meio de fios e do lado receptor estes sinais eram aplicados a um “reperfurador”.

O “reperfurador” era uma máquina que recebia os impulsos elétricos e os transmitia a um dispositivo que reproduzia uma cópia exata da fita transmitida. No receptor, um feixe de luz era focado sobre esta fita e a quantidade de luz que passava pelos buracos da fita, determinava a quantidade destes. Esta luz, após atravessar a fita, era focada num filme fotográfico foto sensível que



Figura 3 – Transmissor Bartlane.

estava numa caixa à prova de luz externa. Este filme era então envolvido em torno de um cilindro que era do mesmo tamanho do cilindro transmissor e sua velocidade era regulada por meio de uma central que sincronizava os buracos na fita recebida.

As características relevantes do sistema Bartlane eram, primeiro, a transmissão e a recepção automáticas; segundo, o uso de fita telegráfica automática padrão e terceiro, a sincronização automática por meio de buracos guia, e assim, a transmissão podia ter velocidade aumentada, parando-se a fita em diferentes pontos e transmitindo as várias seções obtidas por canais diferentes, reunindo-as então no destino, antes de repassá-las ao sistema de reimpressão. Na Figura 3, observa-se o sistema transmissor Bartlane [1] e na Figura 4, outra imagem transmitida [1] e reproduzida pelo sistema Bartlane, onde nota-se uma sensível melhoria na qualidade da imagem, comparando com a da Fig. 1, tanto em qualidade tonal quanto em resolução.

No início, os problemas mais relevantes eram em relação à melhoria da qualidade visual, advindos à seleção dos processos de impressão e distribuição dos níveis de brilho. O método citado foi substituído ao final de 1921 por uma técnica baseada na reprodução fotográfica feita a partir de fitas perfuradas no receptor telegráfico.



Figura 4 – Imagem transmitida pelo sistema Bartlane

Os primeiros sistemas Bartlane, como descritos acima, eram capazes de codificar imagens em cinco níveis de cinza distintos. Porém, essa capacidade aumentou para 15 níveis em 1929 e outros melhoramentos nos métodos de processamento para transmissão de imagens digitais foram desenvolvidos nos anos seguintes. Contudo, foi necessária a combinação do aparecimento de computadores de grande porte com o programa espacial, para que as possibilidades do processamento de imagens digitais viessem chamar a atenção.

Portanto, a história do processamento de imagens digitais está intimamente ligada ao desenvolvimento do computador digital. As imagens digitais carecem tanto de meios de armazenamento e de poder computacional que o progresso do processamento de imagens digitais tem sido extremamente dependente do avanço das tecnologias em computação digital.

A idéia de computador é muito antiga, e pode-se dizer que acompanha a criação do ábaco a mais de 5000 anos. Entretanto, de acordo com Gonzalez [19] a base para o computador digital *moderno* vem dos anos 1940 com a introdução de duas chaves conceituais, por John Von Neumann: uma memória para gravar e armazenar programas e dados, e ramificação condicional. Estas duas idéias são a base de uma unidade de processamento central (Central Processing Unit - CPU) que é o coração dos computadores atuais. A partir de Von Neumann, seguem desenvolvimentos que culminaram nos poderosos computadores atuais perfeitamente capazes de lidar com o processamento de imagens digitais:

- invenção do transistor pelos laboratórios Bell em 1948;
- desenvolvimento das linguagens de programação de alto nível COBOL (Common Business-Oriented Language) e FORTRAN (Formula Translator) nos anos 1950 e 1960;
- invenção do circuito integrado (integrated circuit - IC) pela Texas Instruments em 1958;
- desenvolvimento dos sistemas operacionais em no início dos anos 1960;
- desenvolvimento do microprocessador (um único chip consistindo de uma unidade de processamento central, memória e controles de entrada e saída) pela Intel no início dos anos 1970;
- introdução do computador pessoal, pela IBM em 1981;
- progressiva miniaturização dos componentes, começando com a *large scale integration* (LI) no final dos anos 1970, e então a *very large scale integration* (VLSI) nos anos 1980, passando ao atual uso da *ultra large scale integration* (ULSI).

A utilização de técnicas computacionais para o melhoramento de imagens produzidas por uma sonda espacial começou no Jet Propulsion Laboratory (em Pasadena, Califórnia) no ano de 1964 quando imagens da lua foram transmitidas pela *Ranger 7*, foram processadas computacionalmente para corrigir tipos de distorção devido à câmera de televisão à bordo.

A Fig. 5, mostra a primeira imagem da lua [2] obtida pela *Ranger 7* em 31 de julho de 1964 às 9:09h da manhã, 17 minutos antes de seu impacto com a superfície lunar (esta também foi a primeira imagem da lua, obtida por uma espaçonave americana).

As técnicas utilizadas ali foram a base para a melhoria dos métodos de realce e restauração de imagens utilizados nas missões da Surveyor à lua, missões da Mariner à Marte, vôos tripulados da Apolo, dentre outras.

Desde os mais antigos processos de utilização de imagem digital até os modernos sistemas de aquisição e análise de imagens digitais, observa-se a gradual influência do desenvolvimento tecnológico. Agora com a veloz popularização dos computadores



Figura 5 – Primeira foto da lua obtida por uma espaçonave americana

pessoais e dos mecanismos de aquisição e tratamento de imagens digitais e a expansão da rede de comunicação via internet, surgem inúmeras oportunidades de crescimento do processamento de imagens digitais.

Capítulo 2

Campos de Aplicação do Processamento de Imagens Digitais

São apresentadas agora, algumas áreas de aplicação, que utilizam rotineiramente as técnicas de processamento de imagens digitais. Uma maneira simples de compreender a extensão das aplicações de processamento de imagens é a categorização das imagens de acordo com sua fonte. A principal fonte de energia para as imagens é o espectro eletromagnético (EM) de energia. Gonzalez [19] cita outras fontes de energia tais como, acústica, ultrasônica e eletrônica. As imagens baseadas na radiação do espectro EM são mais familiares, especialmente as imagens de raio-x e banda de luz visível do espectro.

As ondas eletromagnéticas são conceitualmente, ondas senoidais com comprimento de onda variável ou podem ser pensadas como um fluxo de partículas de massa desprezível viajando num padrão de onda à velocidade da luz. Cada uma dessas partículas contém uma certa quantidade (ou

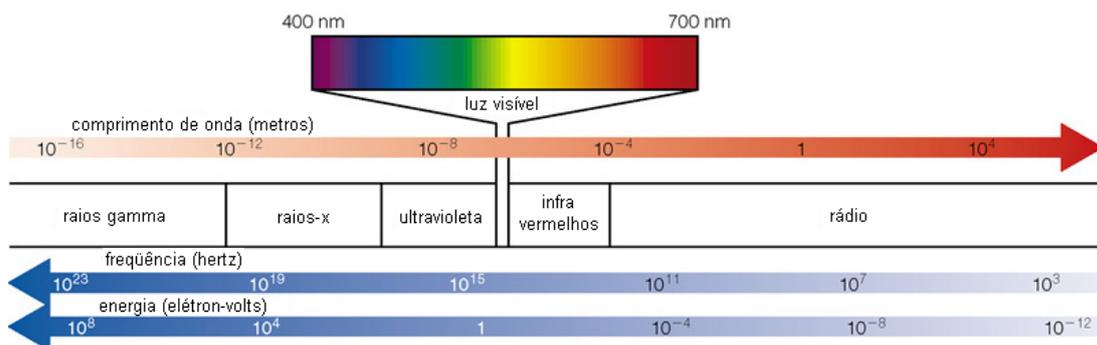


Figura 6 – Espectro eletromagnético organizado de acordo com a energia por fóton

pacote) de energia, onde cada pacote de energia é chamado *fóton*. Agrupando-se a banda espectral de acordo com a energia por fóton, obtém-se o espectro (Fig. 6) com a maior quantidade energética à esquerda (raios gamma) e a menor quantidade de energia à direita (ondas de rádio). Observa-se ainda que o comprimento de onda e a frequência são, respectivamente, inversamente e diretamente proporcional nível energético.

2.1. Raios Gamma

Uma das principais aplicações dos raios gamma é na obtenção de imagens principalmente na medicina nuclear e nas observações astronômicas. Na medicina nuclear, a imagem é obtida por meio da injeção no paciente de um isótopo radioativo emissor de raios gamma e da coleta destes por meio de sensores especiais adequados a estes tipos de raios. A Fig. 7(a) mostra a imagem de um mapeamento completo do sistema ósseo obtida usando imagem de raios gamma, e a Fig. 7(b) mostra outro tipo de obtenção nuclear de imagem denominado *positron emission tomography* (PET).

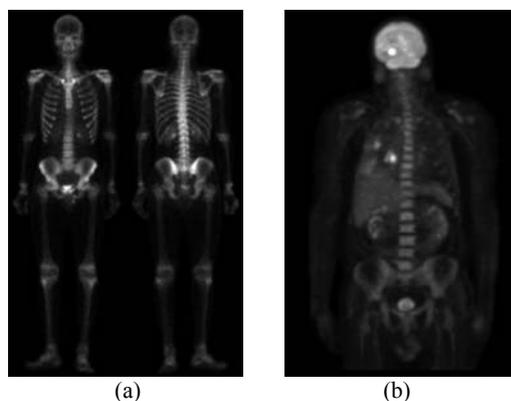


Figura 7 – Exemplos de imagens obtidas por raio gamma (Gonzalez, 2002)

Imagens deste tipo são usadas para encontrar, dentre outras especificidades, sinais de patologia óssea. A Fig. 7(b) mostra um tumor no cérebro e outro no pulmão, facilmente visível como massas brancas pequenas.

2.2. Raios - X

Os raios-x estão entre as fontes mais antigas da radiação do espectro eletromagnético usadas para a imagem. A utilização mais comum dos raios-x é para diagnóstico médico, mas também são usados no setor industrial e em outras áreas, como por exemplo, a astronomia.

A Fig. 8.1(a) mostra um raio-x de ombro, gerado simplesmente colocando-se o paciente entre uma fonte de raio-x e uma película sensível à energia do raio-x. A intensidade do raio-x é modificada pela absorção dos tecidos, enquanto passa através do paciente, e a energia resultante que cai na película a

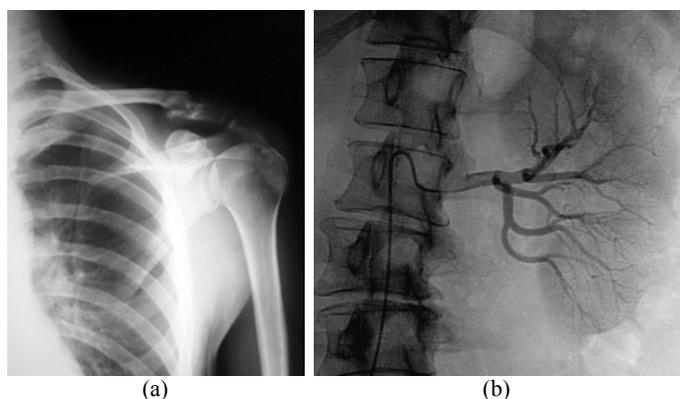


Figura 8.1 – (a) raio-x; (b) angiograma;

sensibiliza, de maneira semelhante que a luz sensibiliza uma película fotográfica.

A angiografia é outra aplicação numa área chamada radiografia de melhoramento por contraste.

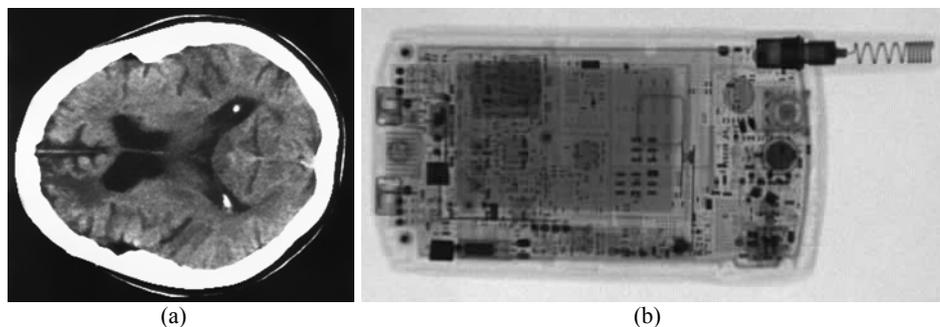


Figura 8.2 – (a) tomografia; (b) raio-x utilizado na indústria eletrônica

Esse procedimento é usado para obter as imagens (chamados angiogramas) de vasos sanguíneos, melhorando-as com a finalidade de tornar possível a visualização de irregularidades ou obstruções. A Fig. 8.1(b) é um exemplo de um angiograma [3] da artéria renal.

Alguns dos campos de conhecimento usam raios-x nas imagens médicas, como tomografia axial computadorizada. Devido a suas definições e capacidade 3-D, as tomografias axiais computadorizadas, revolucionaram a medicina no primeiro momento de avaliações nos anos 1970. A Fig. 8.2(a) acima, mostra uma típica tomografia axial computadorizada da cabeça.

As aplicações de técnicas de processamento de imagens nas áreas industriais envolvem raios-x com alta energia. A Fig. 8.2(b) mostra o raio-x de um aparelho celular [4].

2.3. Ultravioleta

Entre as várias aplicações com a “luz” ultravioleta estão litografia, inspeção industrial, microscopia, laser, imagens médicas e observações astronômicas.

Luzes ultravioletas são usadas em microscopia fluorescente, uma das áreas de maior crescimento da microscopia. A fluorescência é um fenômeno descoberto em meados do século XIX, quando se observou primeiramente que um determinado mineral apresentava fluorescência quando a luz ultravioleta era dirigida a ele [19].

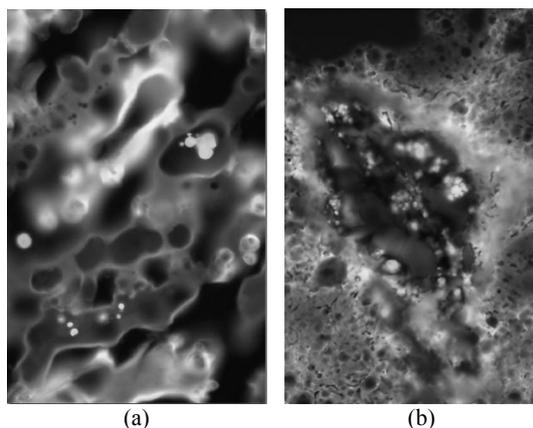


Fig. 9 – Imagens obtidas por meio de “luz” ultravioleta

A microscopia fluorescente é muito útil no estudo dos chamados materiais fluorescentes, em sua forma natural ou quando tratado com produtos químicos. A Fig. 9 mostra resultados de imagens obtidas por fluorescência microscópica. A Fig. 9(a) mostra um grão de milho normal e a Fig. 9(b) mostra um grão de milho infectado por um parasita.

2.4. Faixas de Luz Visível e Infravermelha

A faixa do espectro magnético conhecida como faixa de luz visível é mais comum em todas as atividades do ser humano. Porém, a faixa infravermelha é muitas vezes utilizada juntamente com a imagem “visível”, o que permite um certo agrupamento das faixas visível e infravermelha. Existem inúmeras aplicações, desde microscópios de luz, astronomia, sensoriamento remoto, industrial dentre outros. A Fig. 10.1 mostra grãos de pólen ampliados por meio de um microscópio [5], a Fig. 10.2(a) mostra uma imagem da superfície terrestre obtida por satélite [6] e a Fig. 10.2(b) mostra uma imagem da Centaurus A - NGC 5128, obtida por telescópio (Don Goldman [7]), todas obtidas dentro da faixa de luz visível ou infravermelha.

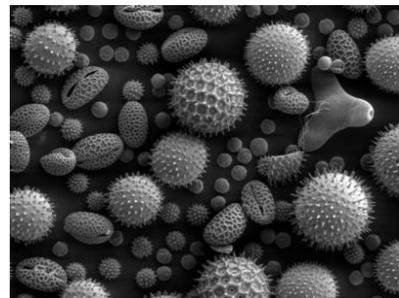


Figura 10.1 – Grãos de pólen ampliados por um microscópio

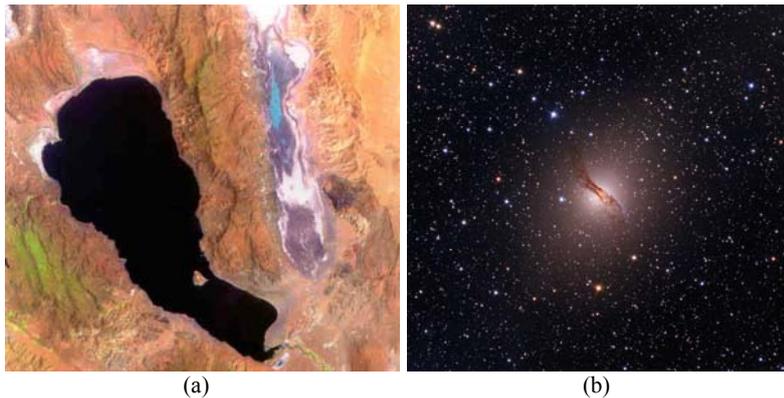


Figura 10.2 – Imagens obtidas dentro da faixa de luz visível ou infravermelha

2.5. Faixa de Microondas

A principal aplicação de imagens na faixa das microondas é voltada a radares, cuja característica principal é visualizar, pelo menos teoricamente, em qualquer região, em qualquer time, independentemente de condições ambientais de iluminação ou do tempo. Só para exemplificar, alguns radares podem “ver” através de vegetação, gelo ou areia. Uma imagem de radar pode ser comparada com o flash de uma câmera, que fornece sua própria iluminação para captar a imagem desejada, a diferença é que no lugar da lente da câmera, são usados uma antena e processador digital que armazena as imagens. A Fig. 11 mostra uma imagem de radar, realizada pela NASA, do monte Ubinas no Peru [8].

2.6. Faixa de Rádio

Como no caso das ondas na outra extremidade do espectro eletromagnético, como os raios gamma, por exemplo, a faixa de ondas de rádio tem grande aplicação na medicina e na astronomia. Na medicina são utilizadas técnicas para realizar imagens de ressonância magnética. A ressonância magnética é realizada na faixa de megahertz (MHz) do espectro eletromagnético, sendo denominada um tipo de espectroscopia. Ela usa as transições entre níveis de energia rotacionais dos núcleos componentes dos átomos ou íons contidas na região de interesse. Isso acontece necessariamente sob a influência de um campo magnético e sob a concomitante irradiação de ondas de rádio na faixa de frequências acima citada.

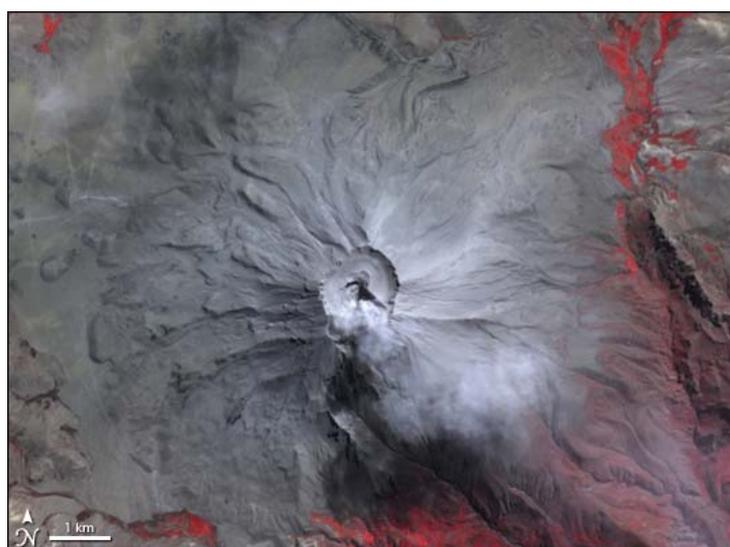


Figura 11 – Imagem obtida por radar de microondas

60% a 70% de água, 6% de gordura, e o restante de proteínas. Possui camadas de fibras celulares e é suspensa por fibras unidas ao corpo ciliar. Muita absorção de luzes infravermelhas e ultravioletas pode causar sérios danos ao olho. A parte mais interna do olho é uma membrana chamada retina, que armazena a descrição de luzes do objeto que o olho vê. Na parte interna da retina existem dois tipos de receptores: cones e bastonetes. Existem cerca de 6 a 7 milhões de cones, localizados no centro da retina e são extremamente sensíveis à cor. Já os bastonetes, localizados na superfície da retina, são cerca de 75 a 150 milhões. Estes por sua vez são sensíveis aos níveis de iluminação.

A forma e a flexibilidade são as principais diferenças entre a lente do olho humano e uma lente óptica normalmente usada. A forma da lente humana é controlada pela tensão nas fibras do corpo ciliar. Assim, com esse conjunto de lentes adaptáveis e receptores de cor e de luz, as imagens são captadas pelo olho e enviadas ao cérebro pelo nervo ótico.

De acordo com Gonzalez [19], com relação aos receptores de cor, os cones, experimentalmente se verificou que em torno de 65% são sensíveis à luz vermelha, 33% são sensíveis à luz verde e 2% são sensíveis à luz azul, entretanto, estes últimos são os de maior sensibilidade.

Na tentativa constante de imitar a máquina humana perfeita, os desenvolvimentos tecnológicos se inspiraram neste sistema de lentes e sensores, especializados nas cores vermelha, verde e azul, para construir os mecanismos artificiais de aquisição de imagens.

3.2. Aquisição e Absorção de Imagem

Agora serão apresentados alguns dos tipos de mecanismos artificiais capazes de captar imagens. Gonzalez [19], exhibe basicamente três tipos de sensores de captação de imagem: sensor simples, sensor em linha (ou faixa de sensores) e matriz de sensores (ou sensor plano).

3.2.1. Sensor Simples

O sensor simples é composto basicamente por um material sensível a algum tipo pré-determinado de energia luminosa (dentro do espectro eletromagnético), encapsulado de modo que a energia luminosa seja transformada num sinal em forma de onda (em geral elétrica) que será lido por um processador específico. A Fig. 13 mostra um diagrama simplificado de um sensor simples genérico.

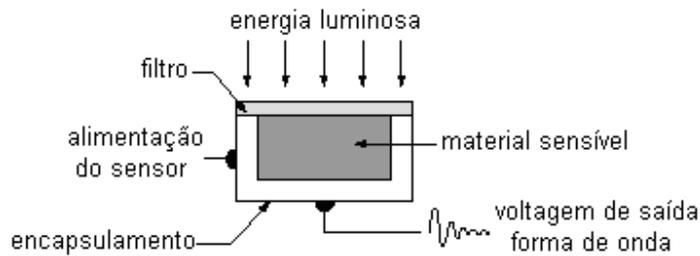


Figura 13 – Diagrama de um sensor simples de aquisição de imagem (adaptado de Gonzalez, 2002)

Para gerar uma imagem bidimensional, utilizando-se um sensor simples, é necessário que haja deslocamentos relativos do sensor, em ambas as direções x e y sobre a área da imagem. Um dos exemplos de aplicação de sensor simples é o uso de uma fonte de laser coincidente com o sensor. Este sistema é utilizado, por exemplo, na detecção de movimento, uma vez que se o feixe do laser é interrompido, o sensor aciona algum sistema de alarme. Com a finalidade de controlar o feixe de laser em direção a um posicionamento específico do sensor, podem ser usados espelhos móveis.

3.2.2. Faixa de Sensores

Mais comuns que os sensores simples as faixas de sensores (Fig. 14), fornecem elementos da imagem numa direção e o movimento perpendicular à faixa fornece a imagem na outra direção. As faixas de sensores montadas em uma configuração de anel são usadas na obtenção de imagens tridimensionais médicas e industriais. A tomografia axial computadorizada se baseia neste sistema de aquisição.

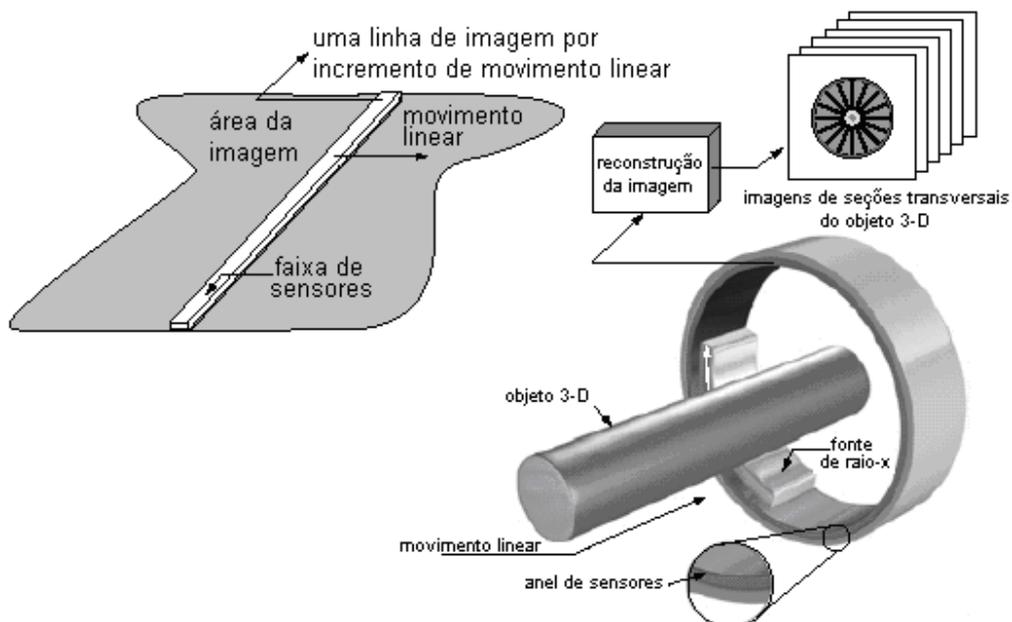


Figura 14 – Diagramas de aquisição de imagem: (a) utilizando faixa de sensores (b) faixa de sensores em configuração de anel (adaptado de Gonzalez, 2002)

3.2.3. Matriz de Sensores

Este é o mais comum dos sensores, utilizados nas câmeras digitais atuais. A energia de uma fonte de iluminação reflete sobre um objeto e o sensor capta a energia luminosa refletida. Em primeiro lugar, coleta-se a energia na entrada e esta é focalizada num plano de imagem. A disposição do sensor coincidente com o plano focal e produz saídas proporcionais ao total de luz recebida pelo sensor (ou sensores). Após o processamento destes dados, a saída é uma imagem digital. A Fig. 15 um esquema simplificado do que pode ser encontrado em câmeras digitais.

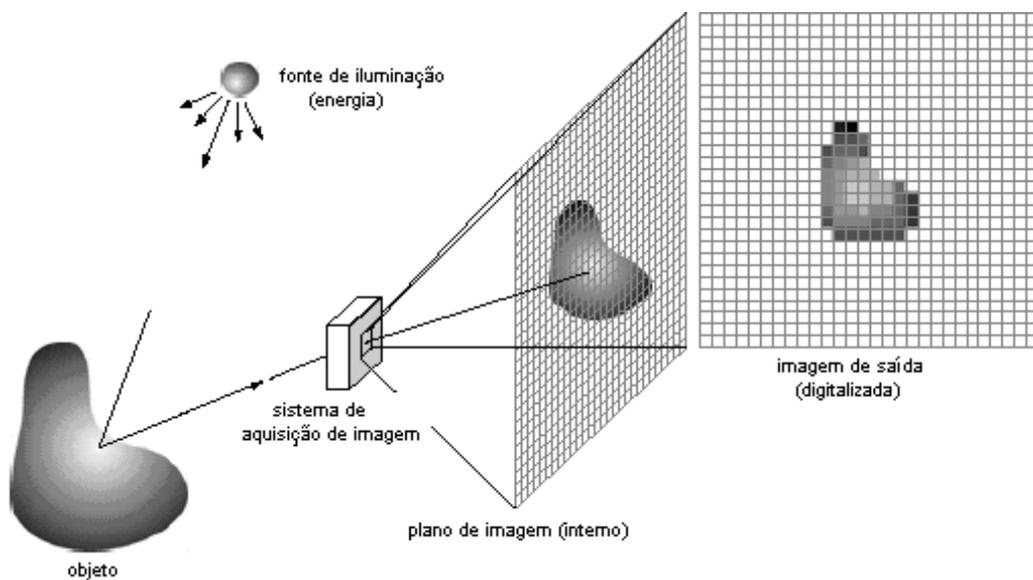


Figura 15 – Esquema simplificado do processo de aquisição de imagens digitais (adaptado de Gonzalez, 2002)

3.3. Evolução das Câmeras Fotográficas

É com espanto que se observa a evolução da tecnologia em aquisição de imagens. Em pouco mais de cem anos o processo de aquisição e armazenamento de imagens sofreu um avanço incrível. Porém, em 1900, surgiram as primeiras *Kodak Brownie* (Fig. 16(a)), que foram as primeiras câmeras fotográficas com o intuito de alcançar a popularização [10]. As Brownie são conhecidas como as primeiras câmeras para a fotografia hobbista amadora, e eram vendidas por um dólar. O filme era colocado numa câmera removível de carregamento e exposição que deslizava na parte traseira da Brownie. A Fig. 15(b) mostra o carregador de filme e o visor que era vendido como acessório por 25 cents. A Brownie original foi produzida por apenas quatro meses e atualmente é muito rara, alcançando preços superiores a milhares de dólares.

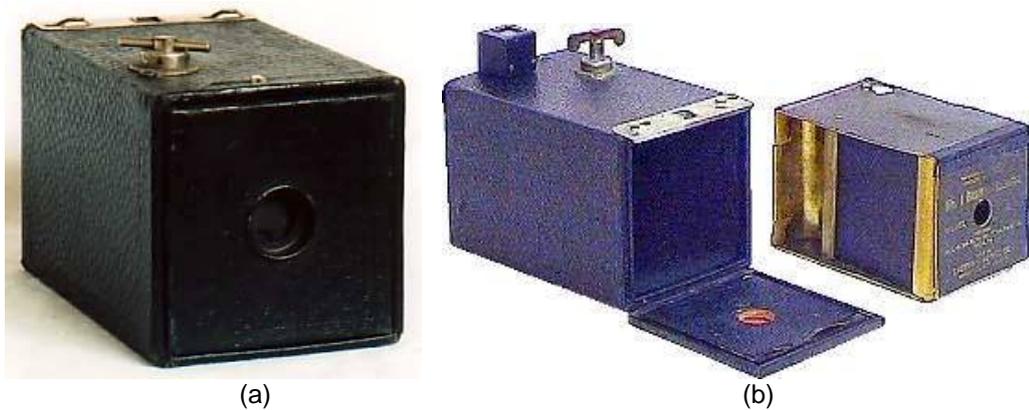


Figura 16 – Kodak Brownie

Hoje, quase que a totalidade das câmeras digitais possui um sensor chamado CCD (Charge Coupled Device). Ele utiliza um material condutor de alta velocidade, que transforma luz em sinais elétricos. Um conversor analógico-digital converte o sinal e o comprime e armazena num dispositivo específico. Os CCD possui milhões de unidades foto-sensíveis que são sensibilizados pela luz que entra no diafragma da câmera, e assim, todos os sinais convertidos por estas unidades são constituintes da imagem. Pode-se dizer que os CCD são a alma das câmeras fotográficas digitais. Na Fig. 17, observa-se um CCD extraído de uma câmera digital [11].

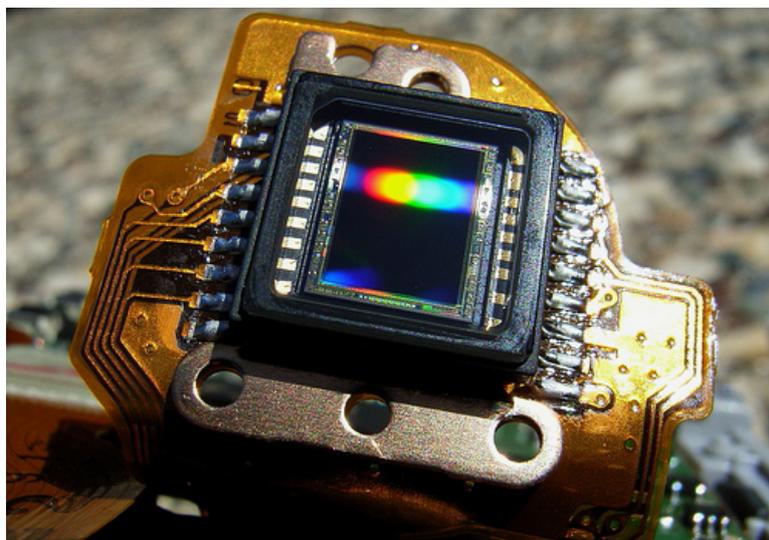


Figura 17 – Imagem de um CCD de 5MP extraído de uma máquina fotográfica digital

Capítulo 4

Fundamentos de Imagens Digitais

Nas operações com imagens digitais existem dois tipos de informação: visual e descritiva. A primeira trabalha com a percepção visual imediata como, por exemplo, o que se vê na tela de um computador. A segunda, mais específica, se refere ao modelo matemático responsável pela representação dos objetos visualizados. No mundo das imagens digitais, existem três áreas que são facilmente confundidas, o Processamento de Imagens, a Computação Gráfica e a Visão Computacional. De modo simplificado, o Processamento de Imagens lida basicamente com operações sobre imagens cujo resultado também são imagens, a Computação Gráfica trata de operações referentes à visualização do modelo de uma imagem e a Visão Computacional é a área onde as operações constituem ações de análise de objetos de uma imagem, bem como a geração de modelos matemáticos para estes objetos. A seguir serão descritos os principais estágios que compõem o Processamento de Imagens Digitais.

Conforme Santos [23], o primeiro passo no processo é a **aquisição da imagem** isto é, adquirir uma imagem digital. Para fazer isso, necessitamos de dispositivo de captura de imagem, como por exemplo, uma câmera digital. Após a obtenção de uma imagem digital, o próximo passo trata do **pré-processamento** daquela imagem. A função chave no pré-processamento é melhorar a imagem de forma a aumentar as chances para o sucesso dos processos seguintes. Nesse exemplo, o pré-processamento tipicamente envolve técnicas de **realce** além de remoção de ruído e isolamento de regiões. A **restauração** de imagem é uma área que lida com a melhoria da aparência da imagem, entretanto, ao contrário do realce de imagens, que é subjetivo, a restauração é objetiva, no sentido que as técnicas são baseadas em modelos probabilísticos e matemáticos da imagem degradada [21]. Já a **compressão** trata das técnicas para redução e armazenamento da imagem, ou da largura de banda necessária para transmiti-la. A **segmentação** é um procedimento que divide a imagem em suas partes constituintes ou objetos. A **Descrição e representação** quase sempre são pós estágio de segmentação, que geralmente são dados sobre pixels, constituindo a fronteira de uma região ou todos os pontos interiores àquela região, ou seja, o conjunto de pixels que separa uma região da

imagem de outra. O último estágio envolve reconhecimento e interpretação. **Reconhecimento** é o processo que atribui um rótulo a um objeto, baseado na informação fornecida pelo seu descritor. A **interpretação** envolve a atribuição de significado a um conjunto de objetos reconhecidos.

4.1 Contínuo x Discreto

Função contínua (de uma variável) é uma função real definida em toda a reta (\mathbb{R}), na qual, para cada valor de x existe um único valor de $f(x)$. Ou seja,

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \rightarrow f(x)$$

O computador armazena valores 0 ou 1, também conhecidos como bits. Um byte, que é um conjunto de 8 bits, facilita as operações relacionadas aos bits. Normalmente, um byte tem valores que variam num intervalo $[0, 255]$ (base binária: $2^8 = 256$). Quando se fala de sistema de 16, 32 ou 64 bits, se refere ao tamanho máximo da “palavra” que o computador consegue processar de uma só vez, assim, sistemas 64 bits são mais eficientes que os de 16 ou 32 bits.

Além disso, o computador não é capaz de lidar com funções contínuas, assim, é preciso fornecer dados “pontuais” que transforma o infinito contínuo em finito, devido às limitações da máquina. O processo que converte os dados contínuos em dados finitos para o computador recebe o nome de discretização, ou seja, toma valores pontuais de x e os guarda em valores $f(x)$ correspondentes. Além disso, o computador só trabalha com números inteiros, ou com uma aproximação de um número real denominada sistema de ponto flutuante. Contudo, as funções contínuas não podem ser representadas num computador, apenas uma simulação destas (Fig. 18). Em relação aos eixos, a discretização ao longo do eixo x recebe o nome de **Amostragem**, enquanto que a discretização ao longo do eixo y é chamada de **Quantização**.

Assim, para discretizar qualquer sinal contínuo é necessário primeiro amostrar e em seguida quantizar, ou seja, discretiza-se primeiro o eixo x depois o eixo $y = f(x)$, sendo que o sinal digital é sempre limitado a um intervalo do domínio.

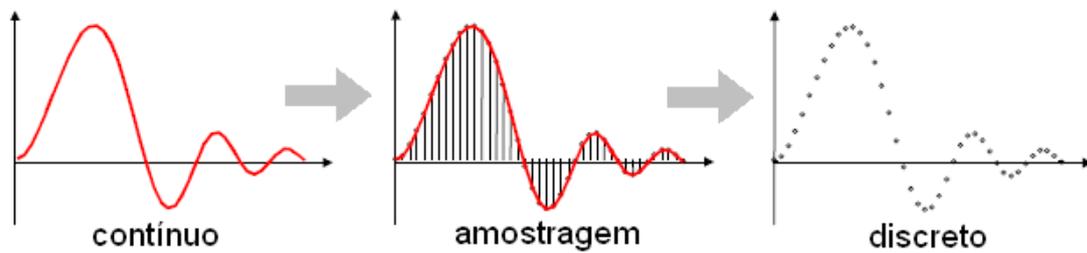


Figura 18 – Exemplificação do processo de amostragem de uma função contínua

4.2 Discretização Espacial

No caso de imagens, a imagem contínua é modelada matematicamente pela função:

$$f(x, y) = \text{“Cor” no ponto } (x, y)$$

com x e y números reais, pertencentes ao intervalo de $[0, X]$ e $[0, Y]$, respectivamente.

Uma vez amostrada e quantizada a imagem, por meio da função acima obtém-se uma matriz de valores que representam as “cores” em cada ponto (x, y) .

Assim, uma imagem pode ser definida como uma função bi-dimensional $f(x, y)$ onde x e y são as coordenadas espaciais, e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas é chamada **intensidade** ou **nível de cinza** da imagem naquele ponto. Após o processo de digitalização (amostragem/quantização) obtém-se um número finito de elementos, quantidades discretas, que é chamado de imagem digital. A imagem digital (Fig. 19) é então, composta por um número finito de elementos, cada um dos quais com uma localização particular e um valor. Estes elementos são comumente chamados de **pixels**.

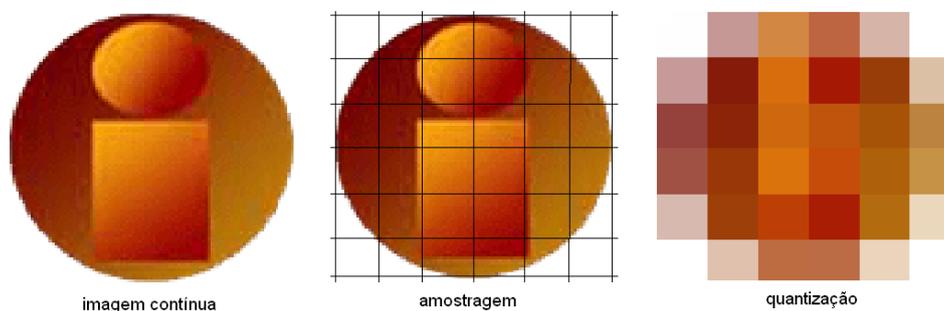


Figura 19 – Exemplo simplificado de amostragem e quantização

O resultado da amostragem e da quantização é uma matriz de M linhas e N colunas de números reais. Os valores das coordenadas (x,y) tornam-se quantidades discretas. Assim podemos denotar a imagem digital M x N da seguinte forma compactada:

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M,1) & f(M,2) & \dots & f(M-1,n-1) \end{bmatrix}$$

Onde a coordenada (x,y) = (0,0) é a origem, (x,y) = (0,1) é o valor da coordenada na primeira linha e segunda coluna da imagem e assim sucessivamente.

4.3. Resolução Espacial

Após a digitalização, a imagem adquire um tamanho adimensional (em pixels). A resolução é a medida da qualidade do processo de digitalização. Em geral, a resolução é medida em pontos por polegada (dots per inch – DPI), mas pode ser medida em outras unidades equivalentes. A relação entre a resolução, tamanho da imagem e o número de pixels:

$$\text{número de pixels} = \text{resolução} \times \text{tamanho real}$$

Quando duas imagens que possuem tamanhos reais iguais são capturadas com resoluções diferentes, estas aparecerão na tela do monitor (TV ou outro dispositivo de exibição de imagem) com tamanhos diferentes. E quando duas imagens de tamanhos reais diferentes são capturadas com resoluções que gerem imagens digitais iguais, estas aparecerão no monitor com o mesmo tamanho.

4.4. Armazenamento e Compressão

Após capturar a imagem, esta é armazenada como uma seqüência de bits, onde, quanto maior o número de pixels da imagem, maior será o tamanho da imagem (em termos do espaço necessário para armazenamento). Assim, o tamanho de uma imagem em bytes pode ser encontrado através da fórmula:

$$\text{Tamanho} = \text{Largura} \times \text{Altura} \times \text{Profundidade} \times \text{BPC}.$$

Na fórmula acima, Largura e Altura são o número de pixels na horizontal e vertical, respectivamente; Profundidade o número de componentes do sistema de cor, para imagens preto e branco (tons de cinza), temos profundidade igual a 1, e para imagens coloridas igual a 3; BPC o número de bits por componente.

Quando o número de pixels de uma imagem é muito grande podem ser aplicados a essa imagem métodos de compressão com perda, que se baseiam no fato de que pequenos detalhes podem ser eliminados e imperceptíveis de imediato, ou sem perda, no qual cada método tem um nome diferente, dependendo da técnica usada para tal objetivo.

O fato da memória do computador ser volátil faz com que seja necessário criar mecanismos para gravar imagens. Para isso foram criados vários tipos de formatos de arquivo nos quais se destacam **TIFF** (Tagged Image File Format), **GIF** (Graphics Interchange Format), **JPEG** (Joint Photographic Experts Group). Assim fica mais fácil trabalhar com imagens, pois cada formato possui características que possibilitam uma melhor manipulação da imagem.

Quando uma imagem é maior do que a memória RAM, são necessários alguns recursos para que se possa processá-la. Um destes é a memória virtual que consiste no uso do disco onde se grava parte da imagem, quando esta parte não está sendo usada.

Capítulo 5

Imagens Coloridas

De modo geral o Processamento de Imagens Digitais (PID) é realizado em imagens preto-e-branco (considerando apenas variações em tons de cinza). A utilização das cores em PID é motivado por dois fatores principais. Primeiro, a cor é um poderoso componente na identificação de um objeto e sua caracterização numa determinada cena. Segundo, o ser humano pode diferenciar centenas de cores e suas respectivas sombras e intensidades, comparado a apenas algumas dúzias de tons de cinzas. Este segundo fator é extremamente importante na análise de imagens não-automatizadas, ou seja, executadas por seres humanos.

O processamento de imagens coloridas é dividido em duas grandes áreas: o processamento de *cores reais* e o processamento de *pseudo-cores*. Na primeira, as imagens em questão são adquiridas por meio de sensores que captam as cores reais, tais como uma câmera de TV ou um scanner colorido. No processamento de pseudo-cores, são consideradas imagens em tons de cinza onde se associa uma cor a uma intensidade ou a uma faixa de intensidades de níveis de cinza. Até recentemente o processamento de imagens coloridas digitais era feito por meio de pseudo-cores. Porém, agora os sensores coloridos e hardwares para processamento de imagens coloridas vêm tornando-se mais acessíveis com preços cada vez mais razoáveis. Como consequência, as técnicas de processamento de imagens coloridas reais são utilizadas numa faixa cada vez maior de aplicações, como por exemplo, publicidade, visualização e internet.

A luz visível ocupa uma faixa muito estreita de frequências no espectro eletromagnético (Fig. 6), aproximadamente 400 a 700 nm. Existem 3 quantidades utilizadas para descrever a qualidade de uma fonte de luz: radiância, luminância e brilho. A radiância é a quantidade total de energia que flui da fonte de luz (medida em watts - w). A luminância dá a quantidade de energia que o observador *percebe* da fonte luminosa (medida em lumens – lm). O brilho é um fator subjetivo que, de acordo com Gonzalez [19], é praticamente impossível de medir.

As características usualmente utilizadas para distinguir duas cores são *brilho*, *matiz* e *saturação* (*brightness*, *hue*, *saturation*). De acordo com Gonzalez [18], o brilho incorpora a noção cromática

de intensidade, enquanto a matiz é um atributo associado ao comprimento de onda dominante numa mistura de ondas de luz, representando a cor dominante percebida pelo observador (quando chamamos um objeto de laranja, vermelho ou amarelo estamos especificando a sua matiz). A saturação se refere à pureza relativa, ou quantidade de luz branca misturada à matiz. As cores do espectro puro são completamente saturadas e cores como o rosa (vermelho+branco) e lilás (violeta+branco) são menos saturadas, sendo o grau de saturação inversamente proporcional à quantidade de luz branca adicionada.

Juntando-se a matiz e saturação têm-se a chamada *cromaticidade*. Assim, uma cor pode ser caracterizada por seu brilho e cromaticidade. O olho humano possui sensores, denominados cones, responsáveis pela visão colorida. Experimentalmente foi evidenciado que estes sensores podem ser divididos em três categorias principais, correspondentes ao vermelho (65%), verde (33%) e azul (2%), sendo estes últimos os mais sensíveis. Assim, qualquer cor pode ser formada por uma combinação de quantidades dessas três categorias de luz. As quantidades de vermelho, verde e azul (red, green, blue – RGB) necessárias para formar uma cor particular são chamadas de valores *triestímulos*, denotadas por X, Y e Z.

Uma cor é especificada por seus *coeficientes tricromáticos*, definidos por:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

Para qualquer comprimento de onda de luz no espectro visível, os valores triestímulo necessários para produzir a cor correspondente àquele comprimento de onda podem ser obtidos diretamente das curvas ou tabelas obtidas de extensivos resultados experimentais ([24], [16]).

5.1. Modelos de Cores

O propósito de um modelo de cores, também chamado *espaço de cores* ou sistema de cores, é facilitar a especificação das cores em algum padrão de aceite geral. Um modelo de cores é a especificação de um sistema de coordenadas tridimensional e um subespaço interno onde cada cor é representada por um único ponto.

A maioria dos modelos de cores é construído em função do equipamento (como impressores, monitores, etc), ou em função de aplicações que envolvem manipulação de cores (como na criação de gráficos de cores para animação). Dentre os modelos com orientação para equipamento, os mais comuns são o RGB (red, green, blue) utilizado em monitores coloridos e

câmeras fotográficas, o CMY (CMYK) utilizado em impressoras jato de tinta e o YIQ (Y – luminância, I – em-fase, Q – quadratura) utilizado em transmissão de TV colorida. Dentre os modelos utilizados em manipulação de imagens coloridas estão o HSI (Matiz, Saturação, Intensidade - Hue, Saturation, Intensity) e o HSV (Matiz, Saturação, Valor - Hue, Saturation, Value).

5.1.1. Modelo RGB

No modelo RGB cada cor aparece em suas componentes primárias espectrais de vermelho, verde e azul. Este modelo é baseado num sistema cartesiano de coordenadas. O subespaço de interesse é o cubo mostrado na Fig. 20, no qual os valores RGB estão em três vértices, e ciano,

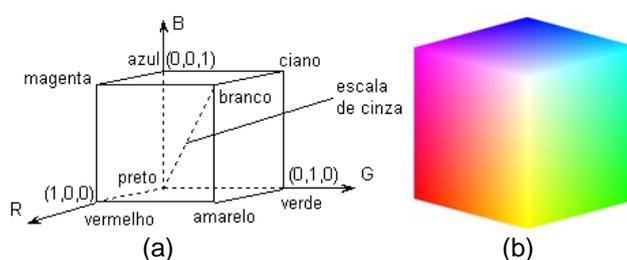


Figura 20 – (a) Esquema do cubo de cores RGB mostrando as cores de luz primárias e secundárias nos vértices. (b) O cubo de cores RGB (adaptado de Gonzalez (2004))

magenta e amarelo estão nos outros três vértices. O preto está na origem e o branco no ponto (1,1,1). Neste modelo a escala de cinza vai da origem (preto) ao ponto (1,1,1) que é o branco. As demais cores estão no interior deste cubo e são definidas pelos vetores com origem em (0,0,0) e extremidade em pontos interiores do cubo. É conveniente normalizar o cubo considerando-o um cubo unitário, assim, todos os valores de R, G e B estão em [0,1].

5.1.2. Modelos CMY e CMYK

De acordo com Gonzalez [19], as cores ciano, magenta e amarelo são consideradas cores secundárias de luz e por outro lado, cores primárias de pigmentos. Por exemplo, se uma superfície coberta com pigmento ciano é iluminada com luz branca, nenhuma luz vermelha é refletida da superfície. isto é, o ciano subtrai luz vermelha da luz branca refletida, esta última, composta de quantias iguais de luzes verde, vermelha e azul. A maioria dos equipamentos que depositam pigmentos coloridos em papel, como impressoras e copiadoras coloridas, exigem entrada de dados CMY (Cyan, Magenta, Yellow), ou desenvolver algum tipo de conversão interna de RGB para

CMY. Esta conversão é produzida usando a operação:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

onde, novamente, supõe-se que todas as cores estejam normalizadas em [0,1]. A última equação mostra que a luz refletida da superfície coberta com ciano puro não contém vermelho ($C = 1 - R$). Analogamente, magenta puro não reflete verde e amarelo puro não reflete azul.

Observa-se na Fig. 21 que, quantidades iguais de pigmentos primários, ciano, magenta e amarelo, produzem o preto. Na prática, a combinação destas cores

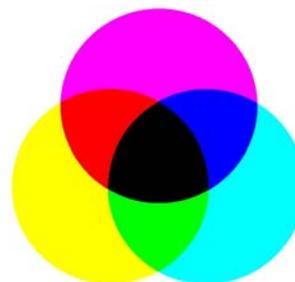


Figura 21 – Cores primárias e secundárias de pigmentos: primárias subtrativas

na impressão, produz um preto não muito real, então, de modo a produzir o preto real, uma quarta cor foi adicionada (preto), dando origem ao modelo CMYK, que é o padrão das impressões utilizadas atualmente. Assim, quando se diz “impressão a quatro cores” se refere às cores do modelo CMY mais o preto (K).

5.1.3. Modelo HSI

Os modelos RGB e CMY (CMYK) não são suficientemente adequados para a *descrição* de cores em termos práticos para interpretação humana, por exemplo, não se faz referência à cor de um automóvel dizendo-se a porcentagem de cada um dos pigmentos primários que compõem sua cor. De acordo com Gonzalez [18], quando o ser humano vê um objeto colorido, naturalmente tenta descrevê-lo por sua nuance, saturação e brilho. A intensidade (nível de cinza) é um descritor muito útil para imagens monocromáticas. Esta quantidade pode ser medida e é facilmente interpretável. O modelo *HSI* (hue, saturation, intensity – nuance, saturação, intensidade), desacopla a componente intensidade da que carrega informação de cor (nuance e saturação) numa imagem colorida, sendo uma ferramenta ideal para o desenvolvimento de algoritmos em processamento de imagens baseados em descrições de cores. Uma imagem colorida RGB é composta por três imagens de intensidade monocromáticas (uma para cada canal de cor: R, G e B), então é possível extrair a intensidade de uma imagem RGB. Tomando o cubo de cores da Fig. 20 liga-se o vértice preto

(0,0,0) ao vértice branco (1,1,1), como mostra a Fig. 22. A intensidade está ao longo da linha que une estes dois pontos. Assim, para determinar a componente de intensidade de qualquer ponto de cor, deve-se traçar um plano *perpendicular* ao eixo de intensidade, que contenha o ponto de cor. A interseção do plano com o eixo de intensidade fornece um valor de intensidade na faixa [0, 1]. Nota-se que a saturação (pureza) de uma cor aumenta como uma função da distância do eixo de intensidade. De fato, a saturação dos pontos sobre o eixo de intensidade é zero, evidenciado pelo de que todos os pontos ao longo deste eixo serem cinza [20].

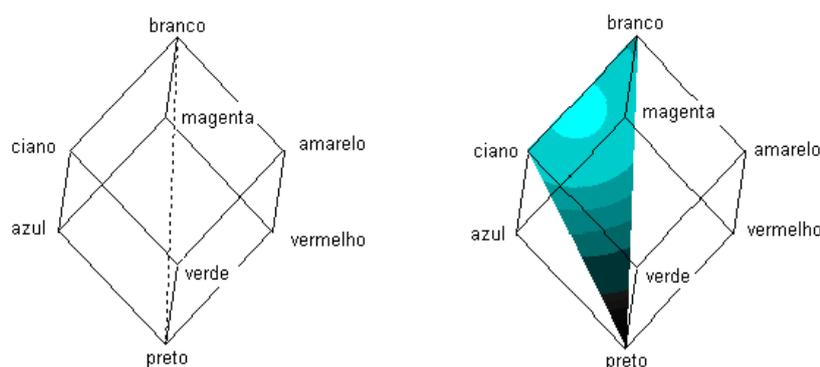


Figura 22 – Relação entre os modelos de cores RGB e HSI (adaptado de Gonzalez (2004))

Para se determinar a nuance a partir de um dado ponto RGB, considere a Fig 22, que mostra o plano definido por três pontos (preto, branco e ciano). Como os pontos preto e branco estão no plano têm-se que o eixo de intensidade também está contido no plano e *todos* os pontos contidos no semiplano definido pelo eixo de intensidade e as fronteiras do cubo, têm a *mesma* nuance (ciano, neste caso), pois as cores dentro deste triângulo de cores são formadas por várias combinações de misturas dos três vértices de cores considerados. Rodando o triângulo sombreado sobre o eixo de intensidade vertical, obtêm-se diversas nuances. Conclui-se então, que os valores de nuance, de saturação e de intensidade, necessários para formar o espaço HSI podem ser obtidos do cubo de cores RGB, permitindo converter todo ponto RGB ao ponto correspondente no modelo de cores HSI trabalhando com fórmulas geométricas.

Gonzalez [20] afirma que as fronteiras definidas pela interseção do plano com as faces do cubo têm uma forma triangular ou hexagonal. Isto pode ser mais claramente visualizado olhando o cubo de cima para baixo em relação ao seu eixo de tons de cinza, como mostrado na Fig. 23. Neste plano as cores primárias estão separadas por 120°. As cores secundárias estão a 60° das primárias, o que significa que o ângulo entre as cores secundárias também é 120°. O ponto é um ponto de cor arbitrário. O ângulo a partir do eixo vermelho fornece a nuance, e o comprimento do vetor é a saturação. A intensidade de todas as cores em qualquer desses planos é dada pela posição do plano no eixo vertical de intensidade

A nuance do ponto é determinada por um ângulo de algum ponto de referência. Usualmente um ângulo de 0° do eixo vermelho designa nuance 0, e a nuance aumenta no sentido anti-horário. A saturação (distância do eixo vertical) é o comprimento do vetor da origem ao ponto. Note que a origem é definida pela interseção do plano de cor com o eixo de intensidade vertical. As componentes importantes do espaço de cores HSI são o eixo de intensidade vertical, o comprimento do vetor até um ponto de cor e o ângulo que este vetor forma com o eixo vermelho.

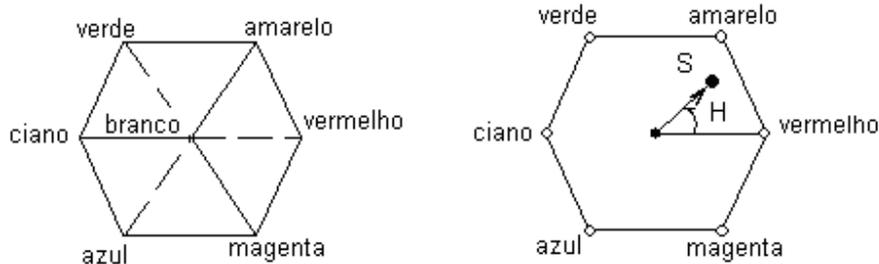


Figura 23 – Nuance e saturação no modelo HSI (adaptado de Gonzalez (2004))

5.2. Conversão de cores de RGB para HSI

Dada uma imagem no formato RGB, a componente H de cada pixel RGB é obtido usando a equação

$$H = \begin{cases} \theta, & \text{se } B \leq G \\ 360 - \theta, & \text{se } B > G \end{cases} \quad \text{com} \quad \theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\left[(R-G)^2 + (R-B)(G-B) \right]^{1/2}} \right\}$$

A componente de saturação é dada por
$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)]$$

E a componente de intensidade é dada por
$$I = \frac{1}{3}(R+G+B)$$

Assume-se que os valores RGB tenham sido normalizados na faixa [0, 1], e que o ângulo θ é medido com respeito ao eixo vermelho do espaço HSI, como indicado na Fig. 23. A nuance pode ser normalizada na faixa [0, 1] dividindo por 360°, todos os valores resultantes da equação para H. As outras duas componentes HSI já estão nesta faixa se os valores RGB dados estão no intervalo [0, 1].

5.3. Conversão de cores de HSI para RGB

As equações aplicáveis dependem dos valores de H. Existem três setores de interesse, correspondendo a intervalos de 120° na separação das primárias (Fig. 22). Multiplicando H por 360°, resulta uma nuance em sua faixa original de [0°, 360°].

Setor RG (0° ≤ H ≤ 120°): Quando H está neste setor, as componentes RGB são dadas pelas equações

$$B = I(1 - S) \quad R = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad G = 3I - (R + B)$$

Setor GB (120° ≤ H ≤ 240°): Se o dado valor de H está neste setor, primeiro subtrai-se 120° dele: H = H - 120°.

Então as componentes RGB são

$$R = I(1 - S) \quad G = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad B = 3I - (R + G)$$

Setor BR (240° ≤ H ≤ 360°): Se H está nesta faixa, subtrai-se 240° dele: H = H - 240°

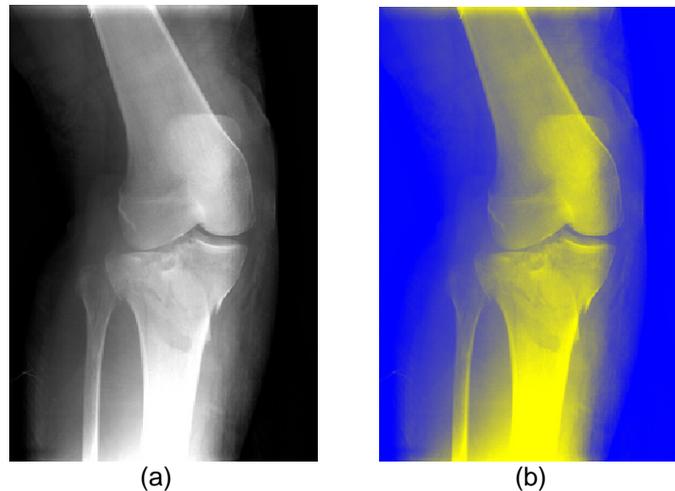
Então as componentes RGB são

$$G = I(1 - S) \quad B = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad R = 3I - (G + B)$$

5.4. Aplicações de Pseudo-Cores

Gonzalez [20] propõe um exemplo de aplicação de pseudo-cores que foi avaliado computacionalmente usando os códigos disponíveis ali. Quando uma imagem monocromática é representada no espaço de cores RGB e as componentes resultantes são aplicadas independentemente, o resultado é uma imagem pseudocolorida na qual a imagem em tons de cinza de entrada é trocada por cores arbitrárias. Transformações que fazem isso são úteis porque o olho humano pode distinguir entre milhões de cores – mas relativamente poucas intensidades de cinza. Assim, aplicações em pseudocores são freqüentemente usadas para fazer pequenas mudanças no nível de cinza visível ao olho humano ou para iluminar importantes regiões em tons de cinza.

A Fig. 24(a) é uma imagem de raio-x de uma fratura de tíbia. Uma versão em pseudocor da imagem é mostrada na Fig. 24(b), gerada pelo uso da função ICE, manipulando-se as componentes verde e azul da entrada convertida em RGB.



(a)
(b)
Figura 24 – (a) Raio-x de uma fratura de tíbia;
(b) uma versão em pseudocores do raio-x

5.5. Suavização de Imagens Coloridas

Gonzalez [18] afirma que a suavização (cálculo da média espacial) de uma imagem monocromática é obtida pela multiplicação de todos os pixels pelos coeficientes correspondentes numa máscara espacial (os quais são todos iguais a 1) e dividindo-se pelo número total de elementos na máscara. O processo de suavização de uma imagem colorida usando-se máscaras espaciais é formulado da mesma maneira que nas imagens em tons de cinza, exceto pelo fato de que, ao invés de simples pixels, agora têm-se vetores.

Seja S_{xy} o conjunto de coordenadas definindo uma vizinhança centrada em (x,y) numa imagem colorida. A média dos vetores RGB nesta vizinhança é

$$\bar{c}(x,y) = \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} c(s,t)$$

onde K é o número de pixels na vizinhança. Assim

$$\bar{c}(x,y) = \begin{bmatrix} \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} R(s,t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} G(s,t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} B(s,t) \end{bmatrix}$$

E conclui-se que a suavização pelo cálculo da vizinhança média pode ser obtida por meio de uma base independente de componentes. Os resultados devem ser os mesmos como se o cálculo da vizinhança média fosse executado diretamente sobre os vetores do espaço de cores.

Conceitualmente, a suavização de uma imagem colorida RGB, consiste de: extrair as três componentes da imagem, filtrar cada componente da imagem individualmente e, finalmente, reconstruir a imagem RGB filtrada.

5.6. Aduçamento de Imagens Coloridas

O aduçamento de uma imagem RGB colorida com um filtro espacial linear é semelhante ao processo de suavização, porém, usando um filtro de aduçamento. Aqui é considerado o aduçamento de imagem usando o Laplaciano. O Laplaciano de um vetor é definido como um vetor cujas componentes são iguais ao Laplaciano das componentes escalares individuais do vetor de entrada.

No sistema de cores RGB, o Laplaciano do vetor $c = (c_R, c_G, c_B) = (R,G,B)$ é dado por

$$\nabla^2 [c(x,y)] = \begin{bmatrix} \nabla^2 R(x,y) \\ \nabla^2 G(x,y) \\ \nabla^2 B(x,y) \end{bmatrix}$$

o que diz que, pode-se calcular o Laplaciano de uma imagem colorida, calculando o Laplaciano de cada componente da imagem separadamente.

Para exemplificar, Gonzalez [20] apresenta uma imagem levemente borrada (Fig. 25(a)), a qual, após aplicação da máscara de filtro Laplaciano é apresentada na Fig. 25(b).

Note o aumento significativo na agudeza das características, tais como as gotas de água, as veias das folhas, os centros amarelos das flores, e a vegetação verde no primeiro plano.

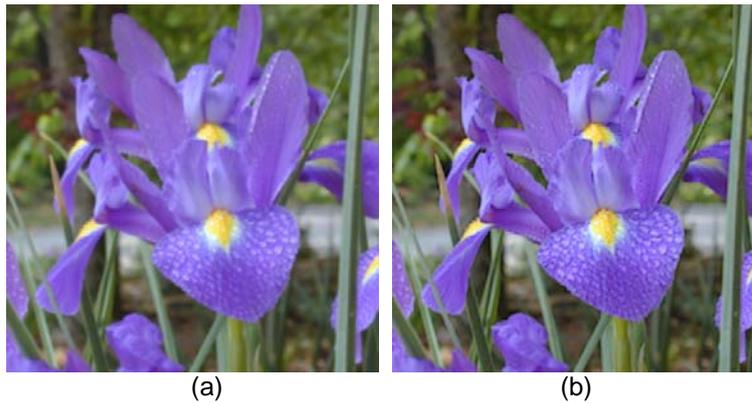


Figura 25 – (a) Imagem borrada. (b) Imagem realçada usando o Laplaciano

Capítulo 6

TV Digital

Desde a primeira transmissão da TV preto e branco que os fabricantes e os usuários buscam meios de tornar melhor e mais satisfatório o prazer de se assistir televisão. Isso tem sido feito aumentando-se a resolução e a razão de contraste, e a capacidade de reproduzir com fidelidade o espectro de cores. Uma forma de se medir o progresso e a qualidade da televisão é o cinema. Sempre que há um avanço tecnológico no cinema, o espectador sai da sala de reprodução com o desejo de ter aquele conforto na sala de sua própria residência. Um exemplo disso é a popularização dos aparelhos de home theater.

Assim é com a transmissão de TV de alta definição (High Definition TV - HDTV). Desde o dia em que George Lucas começou a utilizar câmeras de alta definição nas filmagens da saga *Guerra nas Estrelas – Star Wars*, até hoje, cada dia com mais frequência, as residências tem sido invadidas com a transmissão de TV digital. Contudo ainda há vários problemas a serem resolvidos: as produções necessitam ter seus custos reduzidos e os consumidores anseiam por aparelhos muito mais baratos que permitam receber, gravar e reproduzir seus programas preferidos. E é o que, vislumbrando este contexto de modo otimista, irá acontecer.

6.1. História da TV

Na realidade não há um consenso sobre o início exato do que é conhecido como televisão ([17], 2006). O fato é que em 1842, Alexander Bain transmitiu uma imagem por meio de cabos, inventando o que pode ser chamado de primeiro aparelho de fax. Em 1884 Paul Gottlieb Nipkow descobriu e patenteou uma forma de escanear uma imagem em movimento e transmitir de modo seqüencial. O sistema de Nipkow (Fig. 25) utilizava dois discos sincronizados que giravam, cada um deles com uma espiral de buracos.

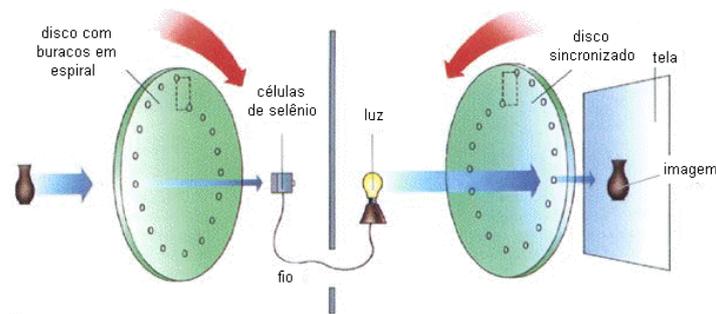


Figura 26 – Sistema de Nipkow

Do lado transmissor, o disco era colocado entre o objeto e um elemento sensível a luz. O lado receptor tinha um disco semelhante colocado entre uma fonte de luz e uma tela. A resolução deste sistema dependia do número de buracos dos discos. Este sistema era capaz de alcançar de 18 a 30 linhas de resolução e marcou o início da era da televisão eletromecânica.

Depois disso, um inventor escocês, John Logie Baird, mostrou publicamente o que pode ser chamado de primeiro vídeo “reconhecível” de uma face humana, em 26 de janeiro de 1926. Este “filme” em escala de cinza que Baird mostrou à Royal Institution em Londres tinha cerca de 30 linhas de resolução. Baird utilizou um disco semelhante ao de Nipkow, mas encaixado entre lentes o que produzia uma imagem mais clara permitindo se identificar uma face humana. Naquele momento, Baird provava que a TV poderia ser popular, e continuou trabalhando na busca pela melhoria da imagem e conseguiu alcançar uma resolução máxima de 240 linhas [13].

Porém, a televisão eletromecânica era incômoda e seu interesse diminuiu e foram sendo desenvolvidos processos eletrônicos necessários ao aumento dos níveis de resolução. Em 1934, Philo Farnsworth demonstrou publicamente um sistema completamente eletrônico. O sistema consistia de uma câmera e do outro lado um tubo de raios catódicos (CRT- cathode ray tube). Ambos usavam um feixe de elétrons controlado pela modulação de um campo magnético. Comparado à TV eletromecânica, o sistema totalmente eletrônico era mais conveniente e o interesse em transmissão de imagens aumentou. Assim, outros desenvolvedores começaram a produzir versões melhoradas de TV e começaram, com sucesso, a popularização desses sistemas.

A medida que as transmissões de TV iam se popularizando, era necessária a busca por uma padronização destas transmissões. Assim, em 1934, nos Estados Unidos a FCC (Federal Communications Commission) estabeleceu o *Communications Act* que adotava regras para o espectro de transmissão. Em 1936 a Associação dos Fabricantes de Rádio (RMA – Radio Manufacturers Association) recomendou um padrão para televisão usando 441 linhas horizontais e 30 frames por segundo com formato 4:3. A adoção principal do formato 4:3 era a proximidade dos filmes 16mm e 35mm com formato 11:8. Entretanto, opositores a este padrão argumentavam que era necessário mais detalhe nas imagens, e após uma série de discussões a FCC sugeriu que a RMA

formasse a *National Television System Committee* (NTSC) em 1940. O objetivo era padronizar tecnicamente a transmissão de TV preto e branco. Então em 1941, a NTSC estabeleceu o seu primeiro conjunto de padrões com formato 4:3, 525 linhas e 30 frames interlaçados (60 campos por segundo). Cada frame interlaçado consistia de dois campos, o primeiro exibindo apenas as linhas ímpares e o segundo exibindo apenas as linhas pares. As estações de TV tinham 6MHz de largura de banda por canal, e cobriam uma faixa de frequência de 54MHz a 890MHz do espectro de transmissão.

6.1.1. A TV Colorida

O padrão original NTSC necessitou ser revisado em 1953, para o início das transmissões a cores. A tarefa de se criar um novo padrão não foi fácil para os engenheiros da época, pois, deveria ser aproveitados a base do sistema de transmissão e os receptores de TV preto e branco existentes, que de acordo com Krause [17] chegavam a 10 milhões de aparelhos em 1949. Então Os engenheiros dividiram o sinal em duas componentes, a luminância, que carrega as informações de brilho e a crominância que carrega as informações de cor. As informações de cor foram codificadas na faixa de 3.58MHz e um subportador foi adicionado sobre o sinal de vídeo. Os aparelhos preto e branco podiam ignorar esse subportador de cor, utilizando apenas a porção de luminância, enquanto que os aparelhos a cores fazem uso dos dois. Infelizmente, o subportador de cor interagiu com o portador de som e produzia alguns problemas. Para reduzir esta interferência, a frequência foi reduzida de 60Hz por uma razão de 1000/1001 para 59.94Hz. Portanto, ao invés de rodar a 30 frames por segundo, a transmissão de televisão foi ajustada para 29.97 frames por segundo.

Enquanto os Estados Unidos, Canadá e México adotaram o padrão NTSC, baseado numa frequência de 60Hz, a maioria dos outros países desenvolveram sistemas de TV colorida baseados em 50Hz. As frequências de geração eram variadas pois dependiam das frequências de operação dos sistemas elétricos regionais. A maioria das versões de PAL (Phase Alternating Line) e SECAM (Séquential Colour avec Mémoire) empregavam formato 4:3 e tinham 625 linhas horizontais, onde as 100 linhas extra, comparadas com o sistema NTSC, forneciam imagens mais detalhadas, mas era notável a oscilação, causada pela taxa de varredura mais lenta, com 25 Hz.

O Brasil é o único país a utilizar o sistema PAL-M. Este sistema foi desenvolvido no Brasil, utilizando o padrão PAL de codificação de sinal com padrão de formação de imagem "M". Esta foi a solução encontrada quando se começava a transmitir as primeiras imagens a cores, de modo que os receptores preto-e-branco pudessem receber as informações que passavam a ser transmitidas a

cores, sem a necessidade de adaptadores. A primeira transmissão a cores oficial aconteceu em 19 de fevereiro de 1972, na Festa da Uva em Caxias do Sul – RS.

6.1.2. TV no Brasil

As primeiras transmissões da TV no Brasil datam de 1950. O dono dos Diários Associados, Francisco de Assis Chateaubriand Bandeira de Melo, comprou da RCA (Radio Corporation of America) os primeiros equipamentos que desembarçaram no porto de Santos em 25 de março de 1950. A pré-estréia da televisão no Brasil aconteceu no dia 3 de Abril de 1950 com a apresentação de Frei José Mojica um padre cantor mexicano (Fig. 27). As imagens foram transmitidas apenas num saguão dos Diários Associados, uma cadeia de jornais e emissoras de rádio, na Rua 7 de



Figura 27 – Frei José Mojica – pré-estréia da TV no Brasil em abril de 1950

Abril em São Paulo, onde haviam alguns aparelhos de TV instalados. Entre 20 e 26 de Julho, foram efetuadas transmissões de um show chamado "Vídeo Educativo", no auditório da Faculdade de Medicina de São Paulo. Os equipamentos utilizados são da General Eletric em conjunto com a E. R. Squibb & Sons do Brasil Inc. A antena transmissora estava instalada na torre do hospital das Clínicas e a receptora no edifício Saldanha Marinho, na rua Líbero Badaró, em São Paulo. Em 10 de Setembro, foi transmitido pela TV Tupi, que ainda estava em fase experimental, um filme em que Getúlio Vargas fala sobre seu retorno à vida política.

No dia 18 de setembro é inaugurada a TV Tupi de São Paulo, PRF-3 TV, canal 3. As imagens foram geradas do estúdio localizado na Rua 7 de Abril, centro de São Paulo. O transmissor da RCA foi colocado no topo do edifício do Banco do Estado de São Paulo, no início da Avenida São João.

De acordo com um levantamento realizado em 2006 pelo IDEC (Instituto de Defesa do Consumidor), 90% dos domicílios brasileiros possuíam TV, somando cerca de 90 milhões de aparelhos no país. Além disso, 80% recebiam exclusivamente sinais da TV aberta, 27% dos aparelhos eram de 14" e 37% de 20". Quase metade dos aparelhos dispunha apenas de antena interna.

6.2. DTV, SDTV e HDTV

Em 1982, um grupo de associações industriais, corporações e instituições educacionais formou nos Estados Unidos a Advanced Television Systems Committee (ATSC). A ATSC é uma organização que desenvolve voluntariamente, padrões para sistemas avançados de TV (www.atsc.org). Estes sistemas avançados incluem DTV (Digital TV), SDTV (Standard Definition TV) e HDTV (High-Definition TV).

Conforme Krause [17], em dezembro de 1996, a FCC adotou a maioria dos padrões propostos pela ATSC, determinando que as transmissoras de TV começassem a transmitir digitalmente. De acordo com a ATSC, em novembro de 1998, mais de 50 por cento da população dos Estados Unidos estava preparada para receber transmissões digitais. Durante um período transitório, a televisão será transmitida digitalmente sob as diretrizes do FCC, mas também analogicamente. O congresso americano votou determinando o fim da transmissão análoga em fevereiro 2009, embora o fim deste prazo possa ainda ser prolongado.

Enquanto o padrão NTSC define o formato analógico, a ATSC criou uma estrutura que suporta múltiplos formatos digitais. Suas transmissões DTV padrão permitem programação SDTV e HDTV em várias taxas de varredura possíveis. Uma vez que esta é uma tecnologia relativamente nova, existe muita confusão entre os consumidores a respeito da HDTV. As transmissões DTV podem ser de alta definição (HD) ou de definição padrão (SD). Enquanto a SDTV possa usar formatos 4:3 ou 16:9, a HDTV sempre usa formato 16:9 (Tab. 1).

	HDTV		SDTV	
linhas horizontais	1280	1920	640	704
linhas verticais	720	1080	480	480
formato	16:9	16:9	4:3	4:3 e 16:9
taxa de varredura	23.976p, 24p, 29.97p, 30p, 59.94p, 60p	23.976p, 24p, 29.97p, 30p, 59.94i, 60i	23.976p, 24p, 29.97p, 30p, 59.94p, 60p, 59.94i, 60i	23.976p, 24p, 29.97p, 30p, 59.94p, 60p, 59.94i, 60i

Tabela 1 – Formatos suportados - ATSC Digital Standard A/53E (i = entrelaçado, p = progressivo)

Uma vez que o sistema de definição padrão tem aproximadamente 640 x 480 pixels (307200 pixels = 300K pixels), e uma imagem HDTV de 1080 x 1920 pixels (2073600 pixels = 2M pixels) então esta última tem em torno de 7 vezes mais pixels que a primeira. Conseqüentemente, é muito maior a gama de detalhes, além de muitas outras melhorias de experiências visuais. A televisão analógica é muito sensível a interferências e ruídos além da tão conhecida formação de “imagens fantasmas”. Devido à compressão digital o sinal não está completamente imune a interferências, mas elimina um sem número de distorções encontradas na TV analógica. Uma característica do sinal digital é que ele chega perfeitamente intacto, ou simplesmente não aparece no receptor. Outra melhoria considerável é o áudio, que pode ser transmitido no padrão *AC3* ou *Dolby Digital*, permitindo uso de *5.1 surround sound*. Além disso, o telespectador pode receber programação em múltiplos idiomas. Na Fig. 28 é mostrada uma comparação entre SDTV e HDTV.

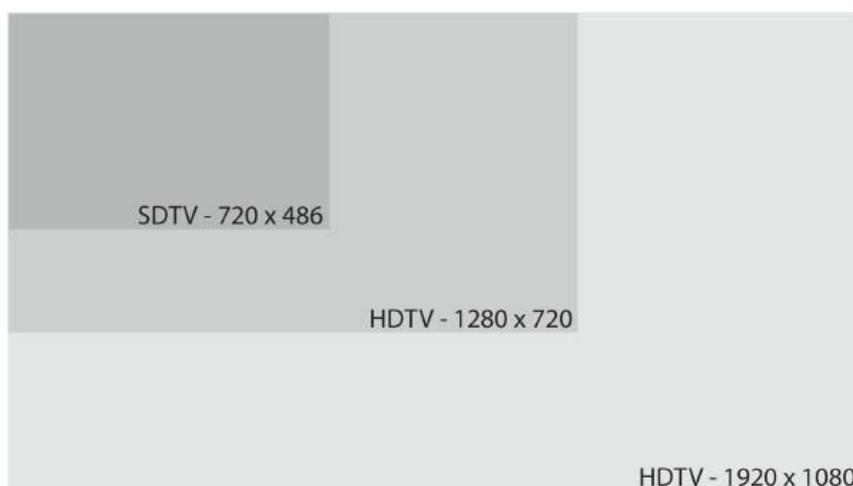


Figura 28 - Comparação entre os formatos SDTV e HDTV

6.3. Entrelaçado (i) x Progressive Scan (p)

Um sinal de vídeo NTSC (analógico) é produzido com 525 linhas (o PAL-M tem 625 linhas). Numa TV CRT (cathode ray tube), a imagem é criada por um feixe de elétrons, que excita fósforos na face da tela. O feixe de elétrons lê cada linha da esquerda para a direita e então salta para exibir a próxima linha. Os fósforos excitados no CRT têm um decaimento muito rápido após a varredura do feixe de elétrons. Devido a esse decaimento, a imagem exibida em 30 frames por segundo apresenta uma oscilação muito alta. Para reduzir essa oscilação, a frequência de exibição tem que ser aumentada. Assim, cada frame é quebrado em dois campos. O primeiro campo exibe apenas as linhas ímpares e o segundo apenas as pares. Desta forma, ao invés de aproximadamente 30 frames por segundo, com 2 campos de 30 frames cada, o sistema entrelaçado exibe 60 frames por segundo.

Este entrelaçamento infelizmente cria alguns problemas visuais, como por exemplo, a oscilação de elementos visuais com linhas finas horizontais, ou o “pause” e “slow motion” mostram defeitos visuais devido à não-simultaneidade de captura dos dois campos (par e ímpar). No lado oposto está o sistema de leitura progressiva ou “progressive scan” que exhibe inteiramente cada frame, ao invés das metades de frames do entrelaçado. A Fig. 29 exhibe um modelo simplificado para o sistema entrelaçado, onde o número de linhas foi reduzido convenientemente.

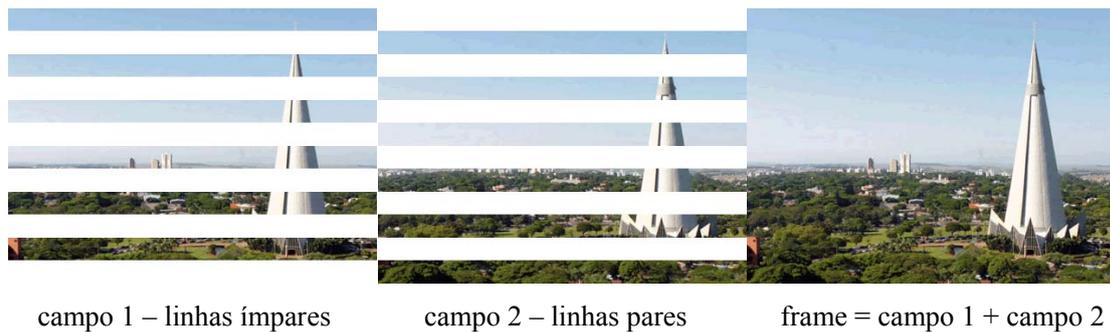


Figura 29 – Sistema entrelaçado

6.4. O Espaço de Cores

Os sistemas baseados em imagens digitais, geralmente operam num espaço de cores RGB ou numa variante dele. Isto acontece não apenas devido à adaptação das antigas transmissões preto-e-branco, mas também para ocupar uma a mais estreita largura de banda possível. A maioria das câmeras capturam imagens sobre um espaço de cores RGB por meio de CCDs (charge coupled devices). Entretanto observa-se um crescimento considerável da utilização de sensores CMOS (complementary metal oxide semiconductor). Inicialmente os valores RGB, sem compressão, são processados e convertidos num modo de diferença de cores. No sistema de diferença de cores, o sinal de cor pode ser numericamente representado com três valores: Y, B-Y e R-Y. De acordo com Krause [17], matematicamente, Y representa o valor da luminância e B-Y e R-Y representam os dois valores das diferenças entre cores. As fórmulas utilizadas para derivar os valores destas diferenças dependem de cada aplicação.

O sistema YIQ foi o sistema de codificação desenvolvido para o NTSC, enquanto o YUV foi usado para o PAL. O YPbPr usa uma fórmula diferente de varredura para a componente de vídeo analógico, enquanto o YCbCr usa um fator de escala otimizado para vídeo digital.

Os seres humanos são muito mais sensíveis a detalhes em brilho do que em informações de cor. Assim, a maioria dos detalhes importantes necessários para compreensão de uma imagem são transmitidos através da porção de luminância do sinal.

6.5. Tecnologias de Exibição

O conteúdo HDTV pode ser visto utilizando vários tipos de equipamentos, os principais disponíveis no Brasil são o CRT (cathode ray tube), LCD (liquid crystal display) e o Plasma.

Cada tecnologia tem suas vantagens e desvantagens. Além da resolução em pixels, outros fatores importantes a considerar quando se compara equipamentos diferentes são o contraste, o brilho e a cor. Estes fatores são determinantes sobre as imagens que uns equipamentos exibem melhor do que outros, ou na sua aplicabilidade e facilidade de instalação. A seguir são exibidas as principais características dos CRT, LCD e Plasma.

CRT – Estes monitores desenhavam as linhas uma após a outra de cima para baixo para exibir um frame inteiro. Geralmente, têm um desempenho de balanço de cores agradável e razoáveis ângulos de visão. Devido ao uso de tubos de vácuo, eles não podem ser construídos maiores que 40”. Eles são muito pesados comparados aos outros tipos de monitor, geram calor e consomem considerável energia. Tipicamente fazem uso de 3 CRTs (verde, vermelho e azul) que convergem numa tela de projeção.

Enquanto a projeção CRT tem boas cores e níveis de preto, eles são pesados e ocupam muito espaço, além de carecer de manutenção periódica para assegurar foco e convergência apropriados. A Fig. 29 exemplifica a relação de peso entre CRT e os monitores “finos”.

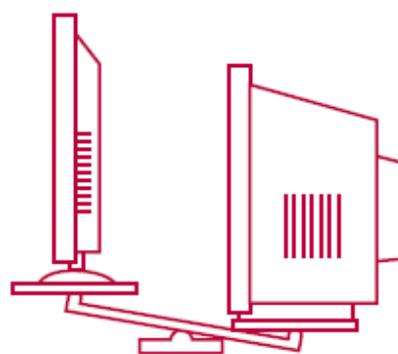


Figura 30 – Relação de peso entre CRT e os monitores LCD e Plasma

LCD – Os monitores LCD HDTV trabalham moldando a luz por meio de uma disposição de células entre dois planos polarizados. Tanto os aparelhos de TV quanto os monitores de computador vêm se popularizando devido ao seu alto brilho, contraste elevado e tempo de vida relativamente longo. Ao contrário dos monitores do plasma, os LCDs não sofrem de “queima”. A queima é dano resultante quando uma imagem estática ou área constantemente iluminada da imagem começam a escurecer com o tempo.

PLASMA – Como monitores LCD, os aparelhos de plasma HDTV são finos e feitos de células prensadas entre placas de vidro. As células de plasma contêm três sub-células preenchidas com gás separadas, uma para cada cor. Quando uma corrente é aplicada a uma sub-célula, ela ioniza o gás emissor de luz ultravioleta. Esta luz ultravioleta excita substâncias fluorescentes nas sub-células que emitem luz vermelha, azul ou verde. Comparado ao LCD, os aparelhos de plasma podem ter ângulos de visão maiores. Alguns aparelhos de plasma sofrem da queima permanente, porém este problema tem sido contornado.

6.5.1. Vantagens do LCD Sobre o Plasma

Ambos são super finos e tem características de design semelhantes, então a diferença fundamental está na sua construção [14]. Como visto na seção anterior, o plasma usa uma matriz de células gasosas que são carregadas por uma voltagem de modo a criar uma imagem. O LCD utiliza cristais líquidos que estão dispostos entre 2 placas de vidro.



Figura 31 – Maior TV LCD de 205”, lançada pela Technovision

Aplicando-se graus variados de carga elétrica de modo a vibrar estes cristais, pode-se controlar a quantidade de luz que passa através deles, criando uma imagem. O LCD se tornou a mais popular das tecnologias. Uma pesquisa recente sugere que em termo de mercado mundial, a tecnologia de TV LCD ocupa 44.8% de todas as TVs vendidas enquanto a PLASMA é responsável por 14.3%. Em virtude do uso em outros dispositivos, como celulares, por exemplo, os consumidores estão mais familiarizados com a tecnologia LCD. As TVs LCD também ocupam uma faixa mais larga de tamanhos chegando até a 205” (veja Fig. 31) [15].

As TVs LCD oferecem uma maior resolução nativa que uma PLASMA similar ou de mesmo tamanho. As LCD também, em geral, tem um maior tempo de vida que o plasma que pode perder seu brilho entre 30.000 e 60.000 horas de uso. Num LCD a fonte de luz é substituível, entretanto, a maioria é garantida por um mínimo de 60.000h. As TVs de Plasma têm a desvantagem de “queimar”, o que é um processo irreversível, como mencionado na seção anterior. Este é um

problema gravíssimo, por exemplo, ao se assistir filmes com formato que produzem duas faixas pretas acima e abaixo da imagem.

Além disso, os LCD consomem menos energia e produzem menos calor que as Plasma, além do que, os LCD são mais finos e conseqüentemente mais leves que os Plasma, facilitando a montagem e o transporte.

Para finalizar, é necessário dizer que existem muitas TVs à venda que se dizem “HDTV”, isto é, de alta definição. Isso não é verdade. Podem ser bem melhores que os aparelhos comuns, mas se não puderem exibir 1.080 linhas entrelaçadas (1.080i) ou 720 progressivas (720p), não são HDTV.

6.5.2. Cabos e Conectores

Com o crescimento do número de câmeras, monitores, gravadores de DVD, etc, existem várias opções de conexão disponíveis. A produção dos equipamentos HDTV trabalha com dispositivos de entrada e saída digitais, além de eventuais conexões analógicas para conexão de equipamentos mais antigos. Uma vez que a HDTV lida com dados digitais, as possíveis interações de dados entre TV e computador podem estar disponíveis, tais como USB, Wi-Fi e Ethernet (ou mesmo, conexão VGA). A seguir são exibidos os principais tipos de conexão utilizados por equipamentos HDTV.

Vídeo Componente – conectores de diferença de cores, tanto analógico quanto digital, podem ser encontrados em aparelhos HDTV. No caso de conexões digitais, é usada a conexão YCbCr e na analógica é usada a YPbPr, com o áudio sendo enviado numa conexão separada.

HDMI (High definition multimedia interface) – Uma conexão HDMI pode carregar tanto multi-canais de áudio quanto de vídeo num único cabo.

DVI (Digital video interface) – é uma conexão mais comum em computadores. O DVI pode ser conectado ao HDMI com um adaptador. Existem 3 tipos de interface DVI: DVI-A apenas sinal analógico; DVI-D apenas digital; DVI-I suporta tanto analógico quanto digital.

Conclusões

Foi apresentado aqui, um breve histórico a respeito das imagens digitais, das imagens em tons de cinza até as imagens coloridas e do desenvolvimento da TV, passando pela TV eletromecânica até a atual HDTV.

Ainda há muito a ser desenvolvido tanto em pesquisa quanto em equipamentos, no sentido de adequar a transmissão da TV digital. O que é importante ressaltar é que desde os mais primitivos métodos de aquisição de imagem, até os sofisticados sinais de TV digital, que carregam vários tipos de informações além dos vídeos, sente-se indiscutivelmente a presença da teoria matemática.

Este trabalho vem mostrar a imensa aplicabilidade desta matemática que nunca foi apenas um amontoado de equações, mas a base na qual se fundamentou e ainda se fundamenta todo o desenvolvimento tecnológico que já foi visto e que esta geração, infelizmente, não poderá vislumbrar num futuro mais distante.

Esta ciência que acompanha o nascimento e o caminhar das civilizações, será repassada e desenvolvida cada vez com mais frequência, à medida que o ser humano estende seu olhar muito além do horizonte, além das fronteiras do universo.

Referências

- [1] www.hffax.de/history/html/bartlane.html; Acesso em 28 de junho de 2009.
- [2] apod.nasa.gov/apod/ap991015.html; Acesso em 28 de junho de 2009.
- [3] www.lahey.org; Acesso em 30 de junho de 2009.
- [4] www.x-sight.co.zo/gallery/sidebar; Acesso em 30 de junho de 2009.
- [5] www.answers.com/topic/microscopy; Acesso em 28 de junho de 2009.
- [6] www.dees.dri.edu/remote-sensing.htm; Acesso em 30 de junho de 2009.
- [7] www.ccd.com/astronomy.html; Acesso em 28 de junho de 2009.
- [8] http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/Images/ubinas_ast_2006128_lrg.jpg; Acesso em 28 de junho de 2009.
- [9] pt.music.openfun.org/wiki/Olho; Acesso em 30 de junho de 2009.
- [10] http://www.digicamhistory.com/1906_1920.html; Acesso em 01 de julho de 2009.
- [11] <http://www.flickr.com/photos/jurvetson/65904598/in/set-30000/>; Acesso em 01 de julho de 2009.
- [12] people.seas.harvard.edu/.../lecture_8.html; Acesso em 01 de julho de 2009.
- [13] http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/baird_logie.shtml; Acesso em 01 de julho de 2009.

[14] Guide to HDTV ... are you ready? Experience the future - MIRAI is the European Home Entertainment brand of Chi Mei Corporation. ; Acesso em 01 de julho de 2009.

[15] <http://www.tecnomodo.com/2007/03/maior-tv-de-lcd-do-mundo-205-polegadas.html>; Acesso em 02 de julho de 2009.

[16] KIVER, M. S., “*Color Television Fundamentals*”, McGraw-Hill, New York, 1965.

[17] KRAUSE, J., “*HDTV – High Definition Television*”, Indiana University Department of Telecommunications, Indiana USA, 2006.

[18] GONZALEZ, R. C., WOODS, R.E., “*Processamento de Imagens Digitais*”, 1ª Ed., 1ª Re-impressão, 2003, Ed. Edgard Blücher LTDA, 1992.

[19] GONZALEZ, R. C., WOODS, R.E., “*Digital Image Processing*”, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey, 2002.

[20] GONZALEZ, R. C., WOODS, R.E., EDINS, S. L., “*Digital Image Processing Using MATLAB*”, Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey, 2004.

[21] MACHADO, P. C., STOPPA, M. H. – “*Um Estudo Sobre Técnicas de Restauração de Imagens Digitais*”, Anais do VII ERMAC - Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional , Uberlândia, MG, 2007.

[22] McFARLANE, M. D. – “*Digital Pictures Fifty Years Ago*”, Proc. IEEE, Vol. 60, no. 7, pp. 768-770, 1972.

[23] SANTOS, A. R., STOPPA, M. H. – “*Aplicações do Realce de Imagens Digitais em Tomografia*”, Monografia, Curso de Especialização em Matemática, Universidade Federal de Goiás – Campus Catalão, Catalão, GO, 2008.

[24] WALSH, J. W. T., “*Photometry*”, Dover, New York, 1958.