

mais utilizados em sistemas gráficos.

## 10.1 Conceitos

A cada composição espectral corresponde uma única cor. Entretanto, uma mesma cor pode ser reproduzida por diversas composições espectrais que são denominadas **metâmeras**. Como uma mesma radiação visível pode produzir sensação de cor diferente em observadores diferentes, duas cores metâmeras para um observador podem não o ser para outro.

Os termos importantes associados a uma cor sob o ponto de vista perceptual são: **matiz**, **saturação** e **brilhança**. Denomina-se **matiz** (*hue*) o atributo de sensação colorida que permite dizer se uma cor é verde ou azul. A **saturação** (*saturation*) é o atributo de sensação colorida que permite dizer se uma cor é mais clara ou mais escura. Chamamos de **clareza** (*lightness*) o atributo de sensação colorida que permite dizer se uma cor é mais ou menos “ofuscante”.

(Ver Fig. 13.17 do livro-texto de Foley.)

O **matiz**, a **saturação** e a **clareza** correspondem, respectivamente, ao **comprimento de onda dominante**, a **pureza na excitação** (“percentagem da luz branca”) e a **luminância** que são grandezas físicas da colorimetria.

**Exercício 10.1** *Dê um exemplo de uma cor saturada e de uma cor com saturação nula.*

**Observação 10.1** *Fotometria trata do estudo das grandezas relativas à emissão e à recepção de radiações luminosas e da medição dessas grandezas. Colorimetria trata dos métodos referentes à medição e avaliação das radiações luminosas percebidas pela visão humana.*

## 10.2 Percepção Visual

Vimos que a imagem de um objeto se forma sobre a retina e distinguem-se na retina dois tipos de células: os cones e os bastonetes. Os cones são destinados à visão diurna, sendo sensíveis às diferenças de cor. Os bastonetes, por sua vez, são destinados à visão com pouca luz, como no caso de visão noturna, sendo insensíveis às diferenças de cor.

Com base em experimentos, foi proposto um modelo “refinado” para a visão humana. A hipótese deste modelo é que a retina possui essencialmente três tipos de células que são, respectivamente, fotossensíveis às faixas

# Capítulo 10

## Cor

O termo *luz* é usado em dois sentidos. No sentido físico, luz é um feixe de ondas eletromagnéticas para as quais o olho humano é sensível. No sentido psicológico, luz é a sensação produzida num observador quando a sua retina é estimulada.

(Ver Fig. 13.16 do livro-texto de Foley.)

A sensibilidade do olho humano varia de observador para observador. Para um mesmo observador, ela varia com a frequência da faixa espectral (faixa de comprimentos de onda visíveis) e produz distintas sensações de cor. A cada comprimento de onda é associada uma **cor espectral**.

Para produzir a cor em um ponto que devemos perceber de forma mais próxima possível da realidade, é necessário distinguir no fluxo luminoso emitido por um ponto da superfície parcelas de fluxo luminoso correspondentes a cada comprimento de onda. A faixa espectral, embora limitada, compreende um número infinito de comprimentos de onda o que, à primeira vista, impossibilita a definição de um modelo computacionalmente factível. Felizmente, graças à limitação da visão humana, os resultados conhecidos até hoje são suficientes para modelar e produzir uma variedade de cores comparável com a que vivenciamos no dia-a-dia.

Neste capítulo apresentaremos algumas características relevantes da percepção visual para Computação Gráfica. Dois padrões típicos para representar as cores da faixa espectral e o diagrama de cromaticidade serão introduzidos. Por ser a formação de cores uma função linear, a maioria dos equipamentos de saída gráfica utiliza o processo de construção de cores a partir de uma base de três cores primárias. Mostraremos ainda, como com uso do diagrama de cromaticidade, podemos prever o espaço de cores de cada dispositivo. Finalmente, serão comentados os modelos de cor

de baixa, média e alta frequência do espectro visível, como comprovam os gráficos das funções de resposta espectral.

(Ver Fig. 13.17 do livro-texto de Foley.)

Para um observador médio, a **sensibilidade relativa** ou **função de resposta espectral** da visão humana varia com o comprimento de onda. O máximo de sensibilidade corresponde à radiação de comprimento de onda igual a  $545\text{ nm}$ . (Esta radiação produz uma sensação amarelo-avermelhada.) Quanto a iluminação não é muito boa, o máximo de sensibilidade se desloca para a faixa de  $440\text{ nm}$  (Esta radiação produz uma sensação próxima de azul.). E para uma iluminação muito forte, o máximo da função se desloca para a faixa de  $580\text{ nm}$  (Esta radiação produz uma sensação próxima de vermelho.).

**Exercício 10.2** *Quais são as cores que se aproximam das três cores da faixa espectral que causam picos na resposta das cores existentes no olho humano?*

Outro fato interessante é que a visão humana não consegue distinguir todas as cores espectrais. Exceto nos extremos da faixa espectral, cores distintas devem ter mais de  $4\text{ nm}$  de diferença no comprimento de onda. Quanto as cores estiverem pouco saturadas, o espaçamento é maior. A sensibilidade visual para pequenas diferenças entre duas cores é de fundamental importância para definir a resolução de um sistema gráfico. Saiba-se que esta sensibilidade depende da tonalidade, da saturação e das cores adjacentes.

(Ver Fig. 13.21 do livro-texto de Foley.)

Um resultado importante para Computação Gráfica é que, experimentalmente, mostrou-se que a partir das três cores correspondentes aos comprimentos de onda  $440\text{ nm}$ ,  $545\text{ nm}$  e  $580\text{ nm}$  é possível reconstruir qualquer cor espectral. Somente numa faixa entre as radiações azul e verde (onde o vermelho assume valores negativos), deve-se adicionar vermelho à cor-teste para que chegue a uma cor constituída por azul e verde.

**Observação 10.2** *As três cores correspondentes aos comprimentos de onda  $440\text{ nm}$  (azul),  $545\text{ nm}$  (verde) e  $580\text{ nm}$  (vermelho) são denominadas as cores primárias.*

(Ver Fig. 13.20 do livro-texto de Foley.)

A **eficiência luminosa** ou **coeficiente de visibilidade** do olho é a razão entre a parcela do fluxo que sensibiliza o olho humano e o fluxo energético. Ela varia com o comprimento de onda da radiação considerada. O valor máximo da **função de eficiência luminosa** corresponde à

radiação de comprimento de onda igual a  $545\text{ nm}$ . Isso permitiu formular um outro modelo perceptual: considerar que o olho humano envia ao cérebro uma decomposição de sinal luminoso em **crôminância** (sensibiliza os cones) e **luminância** (sensibiliza os bastonetes).

(Ver Fig. 13.19 do livro-texto de Foley.)

**Observação 10.3** *O conjunto córnea-cristalino do olho humano comporta-se como uma lente convergente. O cristalino não é uma lente absolutamente rígida e indeformável. Suas camadas periféricas são relativamente moles, de modo que sob a ação dos músculos que o envolvem, o cristalino se torna mais ou menos convergente. Esta facultade do cristalino se adaptar chama-se acomodação. A acomodação, porém, não é ilimitada. A menor distância de um ponto (ponto próximo) para a qual o olho pode se acomodar chama-se distância mínima de visão distinta. Distância máxima de visão distinta é a distância de um ponto (ponto remoto) para a qual o olho não precisa se acomodar.*

*A facilidade do olho humano para distinguir dois pontos distintos é também limitada. Esta capacidade é medida por acuidade visual que define o menor ângulo visual de um par de pontos para o qual cada ponto é visto distintamente um do outro ou por poder de resolução visual que é a menor distância entre dois pontos capazes de serem vistos distintamente um do outro. O valor médio da acuidade visual para uma visão normal é em torno de 1 minuto de ângulo.*

### 10.3 Modelos Tricromáticos

Os experimentos com as três cores primárias permitiram estabelecer três princípios para **misturas aditivas de cores**, conhecidas como **leis de Grassmann**:

1. Podemos especificar qualquer cor como mistura aditiva de três cores independentes.
2. A cor de uma mistura aditiva não se altera quando substituímos as cores componentes pelas suas metâmeras.
3. Se uma componente de uma mistura aditiva é alterada, a cor da mistura é modificada de forma equivalente, obedecendo as leis de simetria, transitividade e linearidade.

A cada cor  $C$  é definida uma **cor complementar**  $-C$  de forma que a soma das duas cores dá uma **luz acromática** (cor branca). Uma luz acromática, ou cor branca, é uma cor que adicionada a qualquer outra não altera o matiz da cor, mas sim só a sua saturação ou pureza. Estas propriedades, junto com a estrutura aditiva linear das cores ( $\alpha(C_1 + C_2) = \alpha C_1 + \alpha C_2$ , onde  $\alpha$  é um fator não-negativo de acrescimo na potencia radiante estimulante), nos permitem dizer que o conjunto de cores provido da operação de mistura aditiva e da multiplicação por fator de potencia define um **espaço de (linear) de cores** de dimensão 3 gerado pelas três cores primárias  $\{C_1, C_2, C_3\}$ . A notação de base canónica,  $(1,0,0)$ ,  $(0,1,0)$  e  $(0,0,1)$ , é utilizada para representar estas três cores primárias. A origem do espaço corresponde a uma luz acromática (cor “branca” de luminância zero).

(Ver Fig. 13.23 do livro-texto de Foley.)

Com base no que foi exposto, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) estabeleceu vários padrões de cor. O modelo mais conhecido em sistemas de informações gráficas é o CIE-XYZ, uma “versão” aprimorada do antigo padrão CIE-RGB.

**Observação 10.4** *CIE é o órgão responsável pela padronização na área de fotometria e colorimetria.*

### 10.3.1 CIE-RGB

Este modelo define como as três cores primárias as cores espectrais de comprimentos iguais a  $435,8 \text{ nm}$  (azul),  $546 \text{ nm}$  (verde) e  $700 \text{ nm}$  (vermelho). A função de reconstrução das cores espectrais a partir destas três cores mostra que há uma faixa de cores espectrais que só podem ser reconstruídas com valores negativos de vermelho. Isso foi uma das razões para a CIE estabelecer o padrão CIE-XYZ.

(Ver Fig. 13.20 do livro-texto de Foley.)

### 10.3.2 CIE-XYZ

A solução que a CIE encontrou para estabelecer um padrão de cores no qual qualquer cor espectral possa ser definida como uma combinação não-negativa das cores primárias foi tomar cores primárias denominadas  $X$ ,  $Y$  e  $Z$ . Embora não correspondam a cores espectrais, elas facilitam o cálculo das grandezas fotométricas uma vez que  $Y$  corresponde à luminância da cor. As cores primárias do sistema CIE-XYZ,  $[1 \ 0 \ 0]^t$ ,  $[0 \ 1 \ 0]^t$  e  $[0 \ 0 \ 1]^t$  que correspondem, respectivamente, às cores  $[1, \ 2730 \ -0,2779 \ 0,0029]^t$ ,

$[-1, \ 7395 \ 2, \ 7675 \ -0,0280]^t$  e  $[-0, \ 7431 \ 0, \ 1409 \ 1, \ 6022]^t$  em CIE-RGB, não são realizáveis fisicamente.

(Ver Fig. 13.22 do livro-texto de Foley.)

Uma cor no padrão CIE-XYZ pode ser transformada para uma correspondente no padrão CIE-RGB através da transformação

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,3647 & -0,51515 & 0,00520 \\ -0,89665 & 0,14264 & -0,01441 \\ -0,46808 & 0,08874 & 1,00921 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

A transformação inversa é dada por

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4900 & 0,17697 & 0,0 \\ 0,3100 & 0,81240 & 0,01 \\ 0,2 & 0,01063 & 0,99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (10.1)$$

**Observação 10.5** *As cores  $[1 \ 0 \ 0]^t$ ,  $[0 \ 1 \ 0]^t$  e  $[0 \ 0 \ 1]^t$  em CIE-RGB correspondem, respectivamente, às cores  $[0, \ 73467 \ 0, \ 26533 \ 0, \ 0]^t$ ,  $[0, \ 27376 \ 0, \ 71741 \ 0, \ 00883]^t$  e  $[0, \ 16658 \ 0, \ 00886 \ 0, \ 82456]^t$  em CIE-XYZ.*

**Exercício 10.3** *Quais são as coordenadas em CIE-RGB das cores  $[1 \ 0 \ 0]^t$ ,  $[0 \ 1 \ 0]^t$  e  $[0 \ 0 \ 1]^t$  em CIE-XYZ?*

## 10.4 Diagrama de Cromaticidade

Com uso da Eq. 10.1 é possível transformar todas as cores espectrais representadas em CIE-RGB para o sistema CIE-XYZ. Uma cor espectral  $[x_s \ y_s \ z_s]^t$  com distintos valores de luminância estão sobre uma reta que passa pela origem. Para uma luminância fixa, as cores espectrais definem uma curva no espaço. Se normalizarmos as coordenadas  $x_s$ ,  $y_s$  e  $z_s$  destes cores em função da luminância ( $x_s + y_s + z_s$ ) da cor, ou seja,

$$x_c = \frac{x_s}{x_s + y_s + z_s}, \quad y_c = \frac{y_s}{x_s + y_s + z_s}, \quad z_c = \frac{z_s}{x_s + y_s + z_s},$$

obteremos os pontos  $[x_c \ y_c \ z_c]^t$  sobre o plano  $X + Y + Z = 1$ .

As coordenadas  $x_c$ ,  $y_c$  e  $z_c$  são somente dependentes do comprimento de onda dominante e da saturação; portanto, são denominadas os valores de **chromaticidade**. O triângulo com os vértices em  $[1 \ 0 \ 0]^t$ ,  $[0 \ 1 \ 0]^t$  e  $[0 \ 0 \ 1]^t$  sobre o plano  $X + Y + Z = 1$  é denominado **triângulo de Maxwell** e a projeção ortográfica da curva sobre o plano  $XY$  define o **diagrama de**

**Cromaticidade.** Isso significa que duas coordenadas  $x_c$  e  $y_c$  do diagrama de cromaticidade são suficientes para caracterizar a  **crominância** de uma cor. Os extremos da curva projetada correspondem, respectivamente, às duas cores dos extremos do intervalo da faixa espectral (de tonalidade azul e vermelho, respectivamente). A combinação linear destas duas cores resulta em diferentes tonalidades de cor púrpura. Portanto, este segmento é chamado  **linha púrpura**.

(Ver Fig. 13:23 e 13:24 do livro-texto de Foley.)

Qualquer cor no sistema  $XYZ$  pode então ser especificada com uso das coordenadas de cromaticidade  $x_c$  e  $y_c$  e da informação de luminância  $Y$  através das expressões

$$Y = Y \quad X = \frac{x}{y} Y \quad Z = \frac{1-x-y}{y} Y$$

ou da informação de  $X$  por meio das equações

$$X = X \quad Y = \frac{y}{x} X \quad Z = \frac{1-x-y}{x} X$$

**Exercício 10.4** *Dadas as três cores em coordenadas de cromaticidade (0.62, 0.33), (0.21, 0.683), (0.15, 0.063). A quais matizes se aproximam estas cores? Determine os seus valores correspondentes no espaço CIE-XYZ para luminâncias  $Y = 1.0$  e  $Y = 1.5$ .*

**Observação 10.6** *A cor branca padrão corresponde a um ponto próximo de  $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3})^t$  no diagrama de cromaticidade.*

O diagrama de cromaticidade pode ser utilizado para analisar as cores em relação à cor branca  $C$  de um sistema de cores:

- Determinação do comprimento de onda dominante (matiz): é o lugar geométrico da interseção entre a curva das cores espectrais e a semi-reta que liga  $C$  e a cor de interesse. Se a interseção estiver sobre a linha púrpura dizemos que a cor não é espectral.
- Determinação da pureza da cor (saturação): Se  $A$  for o matiz da cor de interesse  $B$ , então a razão entre  $\overline{CB}$  e  $\overline{CA}$  nos dá a pureza da cor.
- Determinação da cor complementar: Se  $A$  for o matiz da cor de interesse  $B$  e  $D$  a cor complementar de  $B$ , então a cor complementar de  $E$  é tal que  $\frac{\overline{CE}}{\overline{CB}} = \frac{\overline{CB}}{\overline{CA}}$ .

(Ver Fig. 13:26 do livro-texto de Foley.)

**Exercício 10.5** *Dado um sistema de cores cujo branco padrão está localizado no ponto (0.35, 0.38) do diagrama de cromaticidade. Qual é o comprimento da cor dominante para a cor definida pelas coordenadas de cromaticidade (0.5, 0.45)? E qual é a sua cor complementar?*

**Exercício 10.6** *Qual é o ponto do diagrama de cromaticidade correspondente ao ponto branco "Direct Sunlight" a 5339° K? (Dica: Consultar <http://www.ejga.com/Lab/Graphs/Colors/Chromaticity.htm>)*

O diagrama de cromaticidade é também muito utilizado para definir o  **gamute de cor** que um dispositivo com base em mistura aditiva consegue exibir. Três cores primárias definem um gamute triangular.

**Exercício 10.7** *Esboce um diagrama de cromaticidade o gamute de cor de um filme cujo branco é (0.42, 0.4) e cujas três cores primárias tem as seguintes coordenadas de cromaticidade:  $R(0.7, 0.3)$ ,  $G(0.38, 0.61)$  e  $B(0.15, 0.05)$ .*

**Exercício 10.8** *É possível reproduzir as cores (0.2, 0.5), (0.4, 0.4) e (0.5, 0.6) no filme especificado no Exercício 10.7? Justifique.*

## 10.5 Modelos de Cor em Sistemas de Informações Gráficas

Por conveniência, utilizam-se vários modelos em sistemas de informações gráficas para especificar a cor de um gamute. O modelo de cor mais conhecido para especificar uma cor nos monitores CRTs são os modelos RGB. Isso se deve ao fato da formação aditiva das cores a partir de três tipos de fósforos. Os modelos HSL e HSV são os mais apropriados para definir uma cor por parte do usuário, envolvendo os conceitos de tonalidade/matiz, saturação e o brilho.

### 10.5.1 RGB

O modelo RGB utilizado nos monitores CRT e dispositivos gráficos raster usa um cubo unitário para especificar as cores. O gamute coberto por um monitor depende da cromaticidade dos fósforos que ficam na camada interna da tela. Portanto, há uma grande variação de gamutes entre os monitores. (Ver Fig. 13:27 do livro-texto de Foley.)

**Exercício 10.9** O branco não é necessariamente igual entre os monitores. Considere a tabela no site <http://www.efgc.com/Lab/Graphics/Colors/Chromaticity.htm>.

Um dos problemas em Computação Gráfica para obter imagens coloridas mais fiéis possíveis às exibidas por um outro dispositivo é determinar a cor especificada no gamute de um dispositivo  $D_1$  para a cor no gamute de um outro dispositivo  $D_2$ . Para isso, pode-se utilizar o padrão CIE-XYZ como referência, transformando a cor do gamute de  $D_1$  definido pelas cores primárias  $[x_{r,1} \ y_{r,1}]^t$ ,  $[x_{g,1} \ y_{g,1}]^t$  e  $[x_{b,1} \ y_{b,1}]^t$  para XYZ através de

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M_1 \begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{r,1}C_{r,1} & x_{g,1}C_{g,1} & x_{b,1}C_{b,1} \\ y_{r,1}C_{r,1} & y_{g,1}C_{g,1} & y_{b,1}C_{b,1} \\ z_{r,1}C_{r,1} & z_{g,1}C_{g,1} & z_{b,1}C_{b,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 \\ G_1 \\ B_1 \end{bmatrix}$$

e depois da referência XYZ para o gamute do dispositivo  $D_2$  definido pelas cores primárias  $[x_{r,2} \ y_{r,2}]^t$ ,  $[x_{g,2} \ y_{g,2}]^t$  e  $[x_{b,2} \ y_{b,2}]^t$

$$\begin{bmatrix} R_2 \\ G_2 \\ B_2 \end{bmatrix} = M_2^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{r,2}C_{r,2} & x_{g,2}C_{g,2} & x_{b,2}C_{b,2} \\ y_{r,2}C_{r,2} & y_{g,2}C_{g,2} & y_{b,2}C_{b,2} \\ z_{r,2}C_{r,2} & z_{g,2}C_{g,2} & z_{b,2}C_{b,2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}.$$

Há duas diferentes formas para determinar os fluxos luminosos para as três cores  $C_{r,i}$ ,  $C_{g,i}$  e  $C_{b,i}$  de um dispositivo  $i$ . Uma forma é com uso de um fotômetro para medir o nível de luminância máxima  $Y_{r,i}$ ,  $Y_{g,i}$  e  $Y_{b,i}$  de cada cor primária do dispositivo  $i$  e depois substituí-los nas expressões

$$C_{r,i} = \frac{Y_{r,i}}{y_{r,i}}, \quad C_{g,i} = \frac{Y_{g,i}}{y_{g,i}}, \quad C_{b,i} = \frac{Y_{b,i}}{y_{b,i}}$$

**Exercício 10.10** Seja um monitor colorido cujos três tipos de fósforos RGB tem as seguintes coordenadas de cromaticidade:  $R(0.62, 0.33)$ ,  $G(0.21, 0.685)$  e  $B(0.15, 0.063)$  e o nível de luminância máxima para cada tipo de fósforo seja  $Y_r = 0.23$ ,  $Y_g = 0.8$  e  $Y_b = 0.7$ . Obtem a matriz de transformação do espaço de cores RGB do monitor para o espaço CIE-XYZ.

A segunda forma é determinar a cor branca  $[1 \ 1 \ 1]^t$  do dispositivo no sistema XYZ e utilizar estas coordenadas para obter  $C_{r,i}$ ,  $C_{g,i}$  e  $C_{b,i}$  através da expressão

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{r,i} & x_{g,i} & x_{b,i} \\ y_{r,i} & y_{g,i} & y_{b,i} \\ z_{r,i} & z_{g,i} & z_{b,i} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} C_{r,i} \\ C_{g,i} \\ C_{b,i} \end{bmatrix}$$

**Exercício 10.11** Seja um monitor colorido cujos três tipos de fósforos RGB tem as seguintes coordenadas de cromaticidade:  $R(0.62, 0.34)$ ,  $G(0.29, 0.59)$  e  $B(0.15, 0.06)$  e cujo branco corresponde ao ponto  $(0.289, 0.315)$  quando  $Y_w = 1.0$ . Obtem a matriz de transformação do espaço de cores RGB do monitor para o espaço CIE-XYZ.

### 10.5.2 NTSC YIQ

É utilizado na transmissão de sinais de televisão nos Estados Unidos. A coordenada  $Y$  é igual à coordenada  $Y$  do padrão CIE-XYZ, de forma que uma televisão preto-e-branco possa utilizá-la para exibir imagens coloridas em níveis de cinza. A correspondência entre as coordenadas YIQ e as ordenadas do modelo RGB padrão do NTSC (National Television System Committee) é dada por

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}.$$

**Observação 10.7** No padrão RGB do NTSC as cores primárias são  $R = [0.67 \ 0.33]^t$ ,  $G = [0.21 \ 0.71]^t$  e  $B = [0.14 \ 0.08]^t$ , considerando que a cor branca tenha as coordenadas  $Y_w = 100.0$ ,  $X_w = 0.31 \frac{Y_w}{0.316}$  e  $Z_w = (1 - 0.31 - 0.316) \frac{Y_w}{0.316}$ .

**Exercício 10.12** Mostre que a coordenada  $Y$  do padrão CIE-XYZ corresponde à coordenada  $Y$  do modelo NTSCYIQ. (Dica: Utilize o padrão NTSCRGB definido na Observação 10.7.)

### 10.5.3 CMY

É adequado para especificar as cores das impressoras coloridas que utilizam o processo subtrativo para formação de uma cor. Nestes dispositivos pigmentos ou corantes são depositados sobre a folha durante a “impressão”. Tais materiais funcionam como filtro, deixando somente que ondas de certos comprimentos sejam refletidas.

As três cores primárias deste modelo são ciano, amarelo e magenta. O ciano absorve o vermelho, o amarelo somente deixa refletir o vermelho e o verde; enquanto o magenta absorve as radiações correspondentes à cor verde. (Ver Fig. 13.29 do livro-texto de Foley.)

**Exercício 10.13** Como se transforma uma cor no modelo RGB para o modelo CMY? E vice-versa?

#### 10.5.4 HSV

Diferentemente dos modelos RGB, CMY e YIQ, o modelo HSV é orientado a situações “leigos”, cuja especificação se baseia na forma como os artistas referenciam às cores de tintas – tonalidade (H), sombra (V) e clareamento (S). O sólido de cor é um cone de seis lados. Os seis lados da base correspondem à projeção ortogonal do cubo unitário RGB na direção do diagonal principal do ponto que corresponde à cor branca para origem. Cada camada hexagonal com um valor  $V$  constante corresponde à projeção de um cubo interno com lado igual a  $V$ .

(Ver Fig. 13.30–13.32 do livro-texto de Foley.)

**Exercício 10.14** *Podese dizer que o modelo HSV é equivalente ao empilhamento das projeções dos seis lados de cubos de tamanhos variados? Justifique.*

**Exercício 10.15** *Qual é o ponto correspondente no modelo HSV de uma cor (0.5,0.5,0.5) no modelo RGB?*

**Exercício 10.16** *Qual é a transformação de uma cor no modelo HSV para o modelo RGB? Implemente uma extensão para OpenGL, `gluHSVColorXXX`, que permita especificar uma cor pelo modelo HSV.*

### 10.6 Quantização

Vale comentar que quantização de cores é também um tópico importante na síntese de imagens, uma vez que as cores suportadas pelos dispositivos gráficos são limitadas. Embora o princípio de quantização é o mesmo apresentado no Capítulo 9 para imagens monocromáticas, o algoritmo é muito mais complexo por cores serem representadas por vetores de 3 componentes.