

Capítulo 11

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 do 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 tricromáticos 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 colorida 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

mais utilizados em sistemas gráficos.

11.1 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 brilhância. 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 **claridade** (*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 claridade correspondem, respectivamente, ao **comprimento de onda dominante**, a **pureza na excitação** (“porcentagem da luz branca”) e a **luminância** que são grandezas físicas da colorimetria.

Exercício 11.1 *Dê um exemplo de uma cor saturada e de uma cor com saturação nula.*

Observação 11.1 *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.*

11.2 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 “triestímulo” para o olho humano. A hipótese deste modelo é que a retina possui essencialmente três tipos de células que são, respectivamente, fotosensíveis às faixas

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** do olho humano varia com o comprimento de onda. O máximo de sensibilidade corresponde à radiação de comprimento de onda igual a 545 nm (Esta radiação produz uma sensação amarelo-esverdeada.). Quando a iluminação não é muito boa, o máximo de sensibilidade se desloca para a faixa de 440 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 nm (Esta radiação produz uma sensação próxima de vermelho.).

Exercício 11.2 *Por que se diz que as três cores vermelho, verde e azul são as cores que se **aproximam** das cores espectrais que causam picos na resposta dos três tipos de cones existentes na visão humana?*

Outro fato interessante é que o olho humano não consegue distinguir todas as cores espectrais. Exceto nos extremos da faixa espectral, cores distinguíveis devem ter mais de 4 nm de diferença no comprimento de onda. Quando 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. Sabe-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 nm , 545 nm e 580 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 11.2 *As três cores correspondentes aos comprimentos de onda 440 nm (azul), 545 nm (verde) e 580 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 a visão humana 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 nm . Isso permitiu formular um outro modelo perceptual: considerar que o olho humano envia ao cérebro uma decomposição de sinal luminoso em **crominância** (sensibiliza os cones) e **luminância** (sensibiliza os bastonetes).

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

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 faculdade 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 faculdade 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.

11.3 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 substituimos 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 α é um fator não-negativo de acréscimo na potência radiante estimulante) nos permitem dizer que o conjunto de cores provido da operação de mistura aditiva e da multiplicação por fator de potência 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 canônica é utilizada para representar estas três cores primárias. A origem do espaço, por sua vez, 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. Entretanto, por ser mais natural, é mencionado brevemente o padrão CIE-RGB.

Observação 11.3 *CIE é o órgão responsável pela padronização na área de fotometria e colorimetria.*

11.3.1 CIE-RGB

Este modelo define como as três cores primárias as cores espectrais de comprimentos iguais a 435.8 mn (azul), 546 mn (verde) e 700 mn (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.)

11.3.2 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 $[1,2750\ -0,2779\ 0,0029]^t$,

$[-1,7395 \ 2,7675 \ -0,0280]^t$ 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

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4900 & 0,17697 & 0,0 \\ 0,3100 & 0,81240 & 0,01 \\ 0,2 & 0,01063 & 0,99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (11.1)$$

Observação 11.4 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.

11.4 Diagrama de Cromaticidade

Com uso da Eq. 11.1 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 destas 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 **cromaticidade**. 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 11.3 Dadas as três cores em coordenadas de cromaticidade $(0.62, 0.33)$, $(0.21, 0.685)$, $(0.15, 0.063)$. A quais matizes se aproximam estas três cores? Determine os seus valores correspondentes no espaço CIE-XYZ para luminâncias $Y = 1.0$ e $Y = 1.5$.

Observação 11.5 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 intersecção 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 $\frac{\overline{CE}}{\overline{CD}} = \frac{\overline{CB}}{\overline{CA}}$.

(Ver Fig. 13.26 do livro-texto de Foley.)

Exercício 11.4 *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?*

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 11.5 *Esboce num 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 11.6 *É possível reproduzir as cores $(0.2, 0.5)$, $(0.4, 0.4)$ e $(0.5, 0.6)$ no filme especificado no Exercício 11.5? Justifique.*

11.5 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 mais apropriados para definir uma cor por parte do usuário, envolvendo os conceitos de tonalidade/matiz, saturação e o brilho.

11.5.1 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.)

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 $\mathcal{D}_1$ para a cor no gamute de um outro dispositivo $\mathcal{D}_2$. Para isso, pode-se utilizar o padrão CIE-XYZ

como referência, transformando a cor do gamute de $\mathcal{D}_1$ 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 $\mathcal{D}_2$ 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 11.7 *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 $Y_b = 0.7$. Obtém 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 11.8 *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 $(0.313, 0.329)$ quando $Y_w = 1.0$. Obtém a matriz de transformação do espaço de cores RGB do monitor para o espaço CIE-XYZ.*

11.5.2 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 coordenadas do modelo RGB padrão do NTSC (*National Television System Committee*) é dada por

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

Exercício 11.9 No segundo projeto foi utilizada a seguinte sequência de comandos para obter a luminância `GL_LUMINANCE` da cor monocromática correspondente a uma cor colorida do modelo RGB suportados pelo OpenGL

```
glPixelTransferf(GL_RED_SCALE, 0.3);
glPixelTransferf(GL_GREEN_SCALE, 0.59);
glPixelTransferf(GL_BLUE_SCALE, 0.11);
```

Justifique esta sequência de comandos.

Observação 11.6 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 11.10 Mostre que a coordenada Y do padrão CIE XYZ corresponde à coordenada Y do modelo NTSCYIQ. (Dica: Utilize o padrão NTSCRGB definido na Observação 11.6.)

11.5.3 CMY

É adequado para especificar as cores das impressoras coloridas que utilizam 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 que somente 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 11.11 *Como se transforma uma cor no modelo RGB para o modelo CMY? E vice-versa?*

11.5.4 HSV

Diferentemente dos modelos RGB, CMY e YIQ, o modelo HSV é orientado a usuários 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 11.12 *Pode-se dizer que o modelo HSV é equivalente ao empilhamento das projeções dos seis lados de cubos de tamanhos variados? Justifique.*

Exercício 11.13 *Qual é o ponto correspondente no modelo HSV de uma cor $(0.5, 0.5, 0.5)$ do modelo RGB?*

Exercício 11.14 *Qual é a transformação de uma cor no modelo HSV para o modelo RGB?*

11.6 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.