

## A PERCEPÇÃO DO ESPAÇO: VISÃO MONOCULAR E VISÃO BINOCULAR

*Este capítulo e o seguinte exploram a função principal da visão: a percepção do espaço. O sistema visual desenvolveu a capacidade de tirar proveito das informações que há na luz ambiental — registrar o arranjo espacial de objetos e superfícies. Cada vez que se olha para a cena visual, esse ponto é confirmado e sublinhado. Os objetos são geralmente vistos como configurações concretas de tamanhos e formas, arranjados espacialmente com relação uns aos outros e estendendo-se para fora em um espaço tridimensional, a alguma profundidade ou distância no espaço físico.*

*De modo geral, o mundo visual que aparece disposto e estabilizado no espaço tridimensional é uma conquista notável. Porém, compreender a percepção desse espaço em profundidade e distância apresenta um problema importante: como pode o espaço visual ser sentido normalmente como tridimensional quando a retina e as imagens retinianas correspondentes são, fundamentalmente, superfícies bidimensionais? Como o sistema visual “constrói” ou revela a terceira dimensão? Parte da resposta está na natureza da estimulação na retina. Por exemplo, enxergamos diferenças no brilho de superfícies diferentes; os objetos ocupam porções diferentes de espaço em nossas retinas e são vistos com graus variáveis de clareza; alguns objetos parecem se sobrepor a outros, parcialmente. A disposição óptica projetada na retina transmite informações ou “indicações” que nos permitem perceber um espaço tridimensional. Algumas dessas indicações são captadas com um olho, e outras exigem a atividade conjunta de ambos.*

*Este capítulo descreve e discute o caráter espacial de tais indicações, juntamente com processos e mecanismos importantes do sistema visual que nos permitem perceber o que há ao nosso redor — a distribuição de superfícies no nosso campo de visão, com objetos sólidos apoiados nelas em profundidades e distâncias definidas. Além disso, também discutiremos alguns dos fatores que afetam o tamanho aparente, já que a percepção do tamanho dos objetos está tão intimamente ligada à percepção da profundidade e da distância dos objetos.*

### SINAIS MONOCULARES DA PERCEPÇÃO DO ESPAÇO

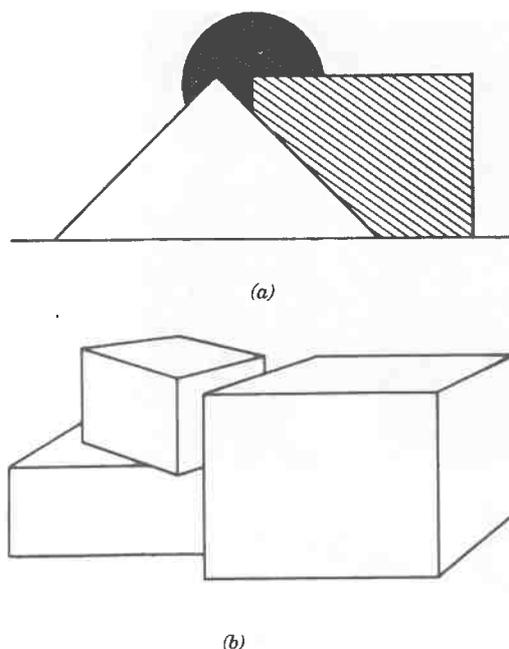
Os sinais espaciais que necessitam apenas de um olho para serem percebidos são designados como **sinais monoculares**. A maioria dos sinais espaciais monoculares é *estática* (isto é, indicações quanto ao espaço em condições onde o observador e a cena estão estacionários), ao passo que só temos acesso às outras quando há movimento (seja pelo observador, no ambiente ou de ambos) ou onde houver uma alteração oculomotora. Figuras, fotografias e ilustrações imóveis, bem como a arte representativa e gráfica, empregam sinais monoculares estáticos, chamados **sinais pictóricos**, para representar pictoricamente a profundidade e a distância, ou seja, produzir a impressão de espaço tridimensional em uma superfície bidimensional, como uma pintura.

#### Sobreposição

A **sobreposição** (ou *oclusão parcial*) refere-se à aparência de um objeto que oculta outro, ou se sobrepõe a ele, parcialmente. Se um objeto estiver coberto em parte por outro o objeto totalmente exposto será percebido como mais próximo. Mostramos exemplos de sobreposição na Figura 9.1. Quando as imagens são de objetos familiares, a sobreposição é mais eficaz para mostrar a distância relativa. Como sinal pictórico estático ele é bem eficiente, mas fornece apenas informações *relativas* de profundidade. Mostra se um objeto está mais próximo ou mais distante do observador do que outro — e não a profundidade absoluta, nem dá informações quanto à distância.

#### Perspectiva Aérea ou Nitidez

Quando olhamos para fora, geralmente vemos os objetos distantes com menos nitidez do que os objetos próximos. Esse sinal monocular de informação chama-se **perspectiva aérea** (ou **nitidez**), e se deve ao efeito de partículas atmosféricas muito pequenas sobre a luz. Os raios de luz que viajam através de partículas suspensas de pó, vapor d'água e outros elementos constituintes da atmosfera se dispersam, o que diminui a nitidez dos detalhes e a clareza das imagens dos objetos refletidos no olho. Como a luz refletida de objetos distantes atravessa um espaço maior da



**Figura 9.1** (a) O círculo parece estar por trás do retângulo, que parece estar atrás do triângulo. (b) A sobreposição contribui para a percepção das posições relativas de desenhos lineares de formas tridimensionais.

atmosfera do que a luz dos objetos próximos, os objetos mais distantes parecem enevoados e pouco claros. A perspectiva aérea pode servir como sinal de profundidade ou de distância, particularmente quando se observam grandes distâncias. (Mais adiante, na Figura 9.13, será mostrada uma fotografia que representa a distância aparente com perspectiva aérea.)

Através da perspectiva aérea os objetos distantes apresentam contraste mais baixo com relação ao fundo do que os objetos próximos. O'Shea e colaboradores (O'Shea *et al.*, 1994; O'Shea & Govan, 1997) realizaram uma série de experiências examinando a relação entre contraste e distância e descobriram que os estímulos com baixo contraste no fundo pareciam sempre mais longínquos do que os estímulos com alto contraste. O contraste aparente, portanto, proporciona informações espaciais. Segue-se, pois, que um grau razoável de informações sobre profundidade aparente e distância, deduzidas da perspectiva aérea, se deve à diminuição de contraste que ocorre quando aumenta a distância de onde se vê. Isso explicaria a observação comum de que estruturas relativamente grandes, como edifícios e montanhas, parecem mais próximas quando vistas em um dia mais claro do que em um dia enevoadado.

## Luz e Sombra

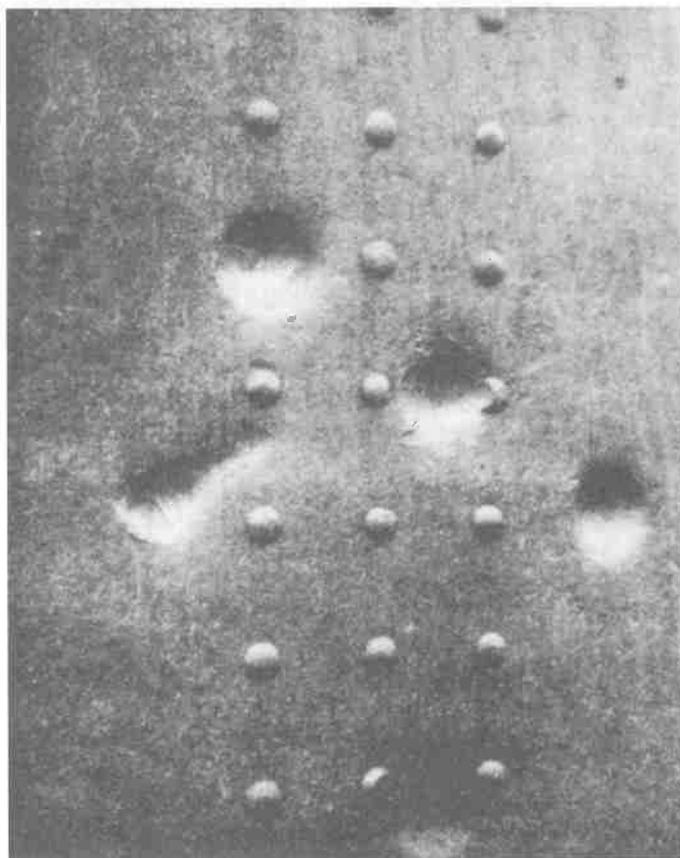
A superfície de um objeto mais próxima da fonte de luz geralmente é a mais brilhante. À medida que a superfície se afasta da luz, parece ter brilho menor e sombra mais forte. A distribuição de **luz e sombra** também contribui para a percepção da profundidade aparente em uma superfície descontínua. Observe os relevos e as reentrâncias irregulares da Figura 9.2; depois, inverta a página. Ocorreu uma alteração entre convexidade e concavidade. Estamos acostumados a uma fonte de luz vinda de cima (p. ex., luz do sol, iluminação do teto). Assim, quando a figura é invertida os relevos e as reentrâncias se revertem, porque continuamos a supor uma fonte de luz acima de nós. Berbaum e colaboradores (Berbaum,

Bever & Chung, 1983, 1984; Berbaum, Tharp & Mroczek, 1983) demonstraram que as áreas de realce e sombreado em uma figura tridimensional são uma fonte importante de informações sobre a profundidade.

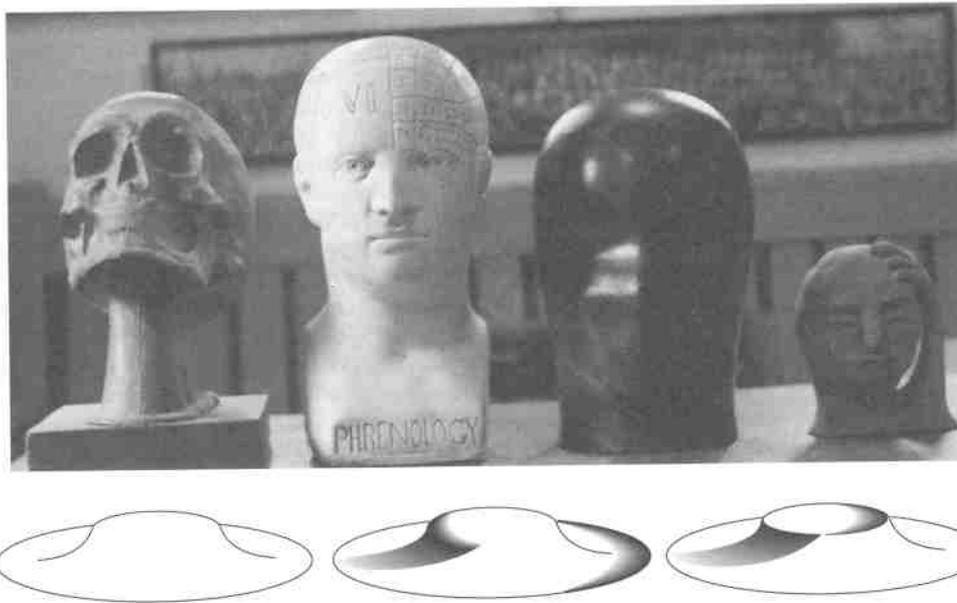
As crianças de três anos já supõem uma fonte de luz acima e conseguem distinguir entre concavidades e convexidades (ou seja, distinguir entre depressões e relevos) com base no sombreado (Benson & Yonas, 1973; Yonas *et al.*, 1979). Além disso, tal como os seres humanos, os galináceos reagem a estímulos se forem iluminados por uma fonte situada acima (Hershberger, 1979), o que sugere que o emprego do sombreado como indicação espacial, se não for inato, é filogeneticamente primitivo.

O êxito do emprego do sombreado em uma pintura para sugerir profundidade é mostrado na Prancha Colorida 15, reprodução de uma das obras de Vermeer. A pintura de Vermeer é conhecida pelo jogo de luz e sombra, usadas de maneira criativa para produzir uma profundidade convincente e qualidade de luminosidade em uma superfície plana.

**Sombra e Forma** O uso apropriado de alterações em sombreado de superfícies também pode fornecer indicações da *forma* dos objetos (Berbaum *et al.*, 1984; Kleffner & Ramachandran, 1992). De modo geral, a iluminação vinda de uma única fonte de luz irá incidir em um objeto tridimensional de forma coerente. Como essas superfícies mais próximas à fonte de luz recebem a maior parte da iluminação, a forma do objeto exerce efeito na distribuição das áreas claras e escuras produzidas. Assim, as superfícies que estão de frente para a fonte de luz parecem mais claras,



**Figura 9.2** Luz e sombra usadas como sinais de profundidade. Quando se vira a figura de cabeça para baixo, os relevos e as depressões se invertem.



**Figura 9.3** Sombra e forma. A figura ao alto é uma foto de alguns objetos sólidos familiares e alguns não familiares, nos quais o sombreamento ajuda a percepção da forma. A figura de baixo consiste em três desenhos que ilustram que a variação no sombreamento afeta de maneira específica a percepção da forma de um objeto. Foi usado o mesmo contorno nos desenhos. O acréscimo da sombra representa um relevo, ou colina, no desenho central; porém, como mostra o desenho à direita, o mesmo contorno com sombreamentos diferentes dá a aparência de uma depressão ou de uma cratera. (Figura do topo cortesia de Harvey Schiffman; figura de baixo baseada em Wyburn, Pickford & Hirst, 1964).

enquanto as superfícies opostas são mais escuras ou sombreadas (Figura 9.3). Além disso, a distribuição de claridade e escuridão em um objeto ajuda a perceber as características de sua superfície. Assim, a percepção de uma superfície curva pode resultar de uma transição gradual do claro para o escuro, ao passo que uma mudança brusca e súbita pode ser percebida como uma margem ou uma quina aguda. O sombreamento é uma fonte de informações espaciais. Talvez, como supõem Kleffner e Ramachandran, certos elementos neurais sejam especializados em deduzir informações sobre formas a partir do sombreamento.

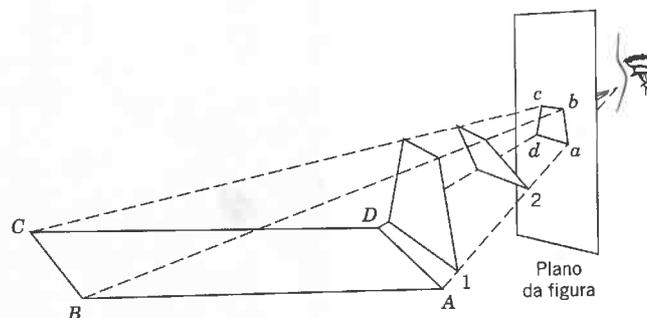
## Altura

De modo geral, o horizonte é mais elevado na dimensão vertical do campo visual do que o primeiro plano. Conseqüentemente, o observador percebe os objetos que parecem mais altos no cam-

po visual (contanto que também pareçam estar *abaixo* da linha do horizonte) como situados mais distantes do que aqueles que parecem mais baixos nesse campo. A **altura** (às vezes chamada de *altura no campo visual*) pode desempenhar um papel tanto na percepção da distância relativa quanto na da absoluta (Wallach, O'Leary & McMahon, 1982). Também serve como sinal espacial quando vemos duas figuras bidimensionais que procuram representar uma relação de profundidade (Berbaum, Tharp & Mroczek, 1983).

## Perspectiva Linear

A percepção da profundidade sobre uma superfície plana pode ser realçada intensamente pela **perspectiva linear** (muitas vezes chamada simplesmente de *perspectiva*). A perspectiva linear envolve sistematicamente o decréscimo no tamanho de elementos



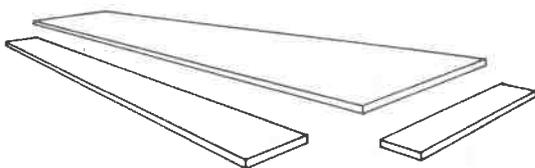
**Figura 9.4** A imagem do retângulo é mostrada em perspectiva no plano da figura. A projeção bidimensional do retângulo  $abcd$  é mostrada como trapezóide  $abcd$  no plano da figura. As distâncias que separam os elementos mais distantes do retângulo (segmento  $BC$ ) decrescem em projeção no plano da figura ( $bc$ ). Observe também que, como o padrão de estímulo do olho está em duas dimensões (conforme representado no plano da figura), há um número infinito de arranjos em três dimensões (formas 1, 2, etc.) que produzirão a mesma forma no olho. (Fonte: Baseado em Hochberg, 1964.)



**Figura 9.5** Talvez o exemplo mais comum e mais surpreendente da perspectiva linear seja a convergência aparente, à distância, dos trilhos ferroviários paralelos. Na realidade, o espaço que existe entre os trilhos é constante, mas as imagens retinianas correspondentes e, conseqüentemente, o tamanho da separação aparente dos trilhos diminuem com a distância.

mais distantes e do espaço que os separa. A imagem de uma cena tridimensional sofre uma transformação assim ao ser projetada na retina (Figura 9.4). Na Figura 9.5 é mostrado um exemplo típico, como os trilhos ferroviários. Os trilhos, fisicamente paralelos, parecem convergir para um ponto situado ao longe, chamado *ponto de fuga*. Na Figura 9.6 é dada outra ilustração de perspectiva que usa linhas convergentes. Observe que as margens que parecem mais distantes são menores do que as que parecem mais próximas. A Figura 9.7 apresenta exemplos artísticos do emprego bizarro da perspectiva linear.

A história da perspectiva linear como técnica gráfica é controvertida. O consenso é que essa técnica foi descoberta no início do século XV por Brunelleschi, arquiteto e escultor italiano (Janson, 1962; Lynes, 1980) e logo depois formalizada por Alberti (Fineman, 1981; Kubovy, 1986).

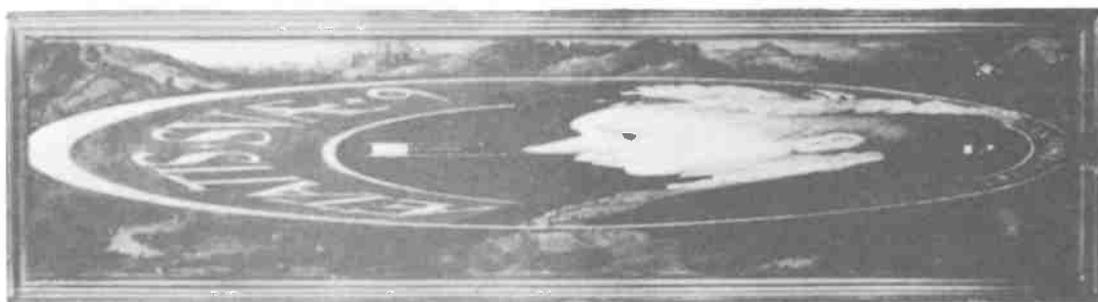


**Figura 9.6** Tábuas desenhadas em perspectiva. As partes de tábuas aparentemente retangulares que diminuem de tamanho parecem mais distantes.

## Gradientes de Textura

Uma forma de microestrutura, tida geralmente como grão, ou textura, é característica de muitas superfícies naturais, como campos de relva, folhagens e árvores, bem como de superfícies artificiais, como estradas, pisos e tecidos. Segundo J. J. Gibson (1950), a textura dessas superfícies possui uma alteração contínua de densidade, ou *gradiente*, que estrutura a luz na disposição óptica coerente com o arranjo físico de objetos e superfícies. Superficialmente, quando olhamos para qualquer superfície texturizada, os elementos que a compõem parecem cada vez menores e mais juntos — comprimidos ou *mais densos* — à medida que aumenta a distância da superfície. Como acontece com a perspectiva linear, o tamanho aparente dos elementos e o espaço entre eles diminuem com a distância. Conseqüentemente, a percepção de uma superfície texturizada, como a que é dada pelo terreno, fornece um sinal importante da distância (p.ex., Sinai *et al.*, 1998).

As informações de textura também dão sinais graduados de profundidade e distância em superfícies planas, como as fotografias (p.ex., Gibson & Bridgeman, 1987; Todd & Akerstrom, 1987). Isso é ilustrado na Figura 9.8, que traz dois exemplos de gradações de textura chamadas **gradientes de textura**. O gradiente, ou alteração gradual no tamanho, na forma e no espaçamento dos elementos formadores do desenho da textura, dá informações sobre a distância. Na Figura 9.9a, a superfície longitudinal  $XY$  projeta uma imagem retiniana  $xy$ ; esta última possui um gradiente de textura

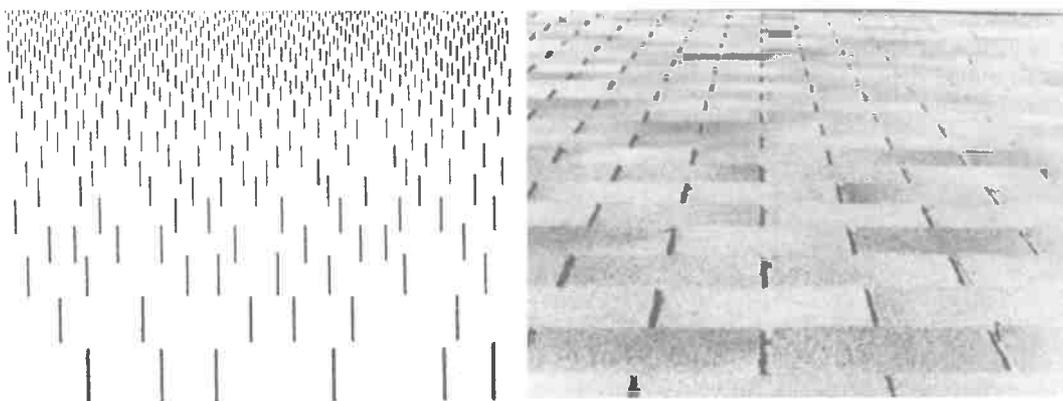


(1)

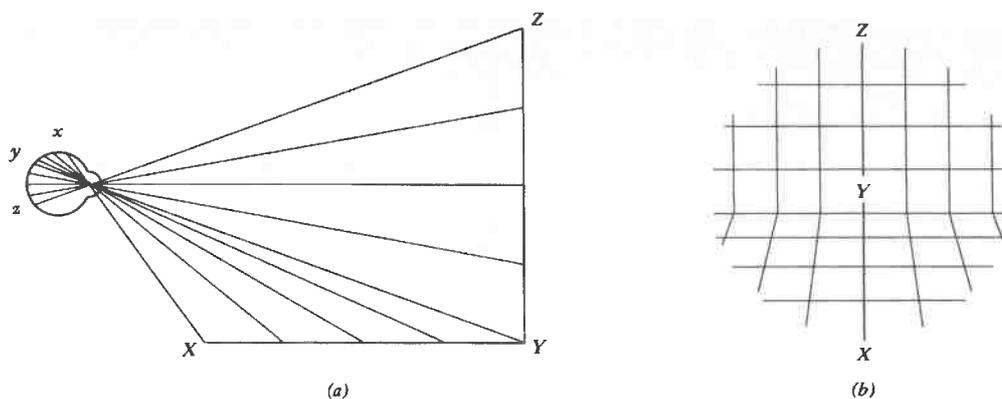


(2)

**Figura 9.7** Emprego esdrúxulo da perspectiva por um pintor. O retrato do século XVI, mostrado em (1), foi desenhado em perspectiva distorcida. Quando visto obliquamente através de um recorte na moldura, a distorção é corrigida, como se vê em (2). Também se pode conseguir o mesmo resultado mantendo-se a margem da página junto ao olho e olhando-se para o quadro em (1). (Fonte: Edward VI, por William Scrots. Reimpresso com permissão de The National Portrait Gallery, London.)



**Figura 9.8** Exemplos de gradientes de textura. Esses gradientes produzem uma impressão de profundidade ou de distância em uma superfície plana.

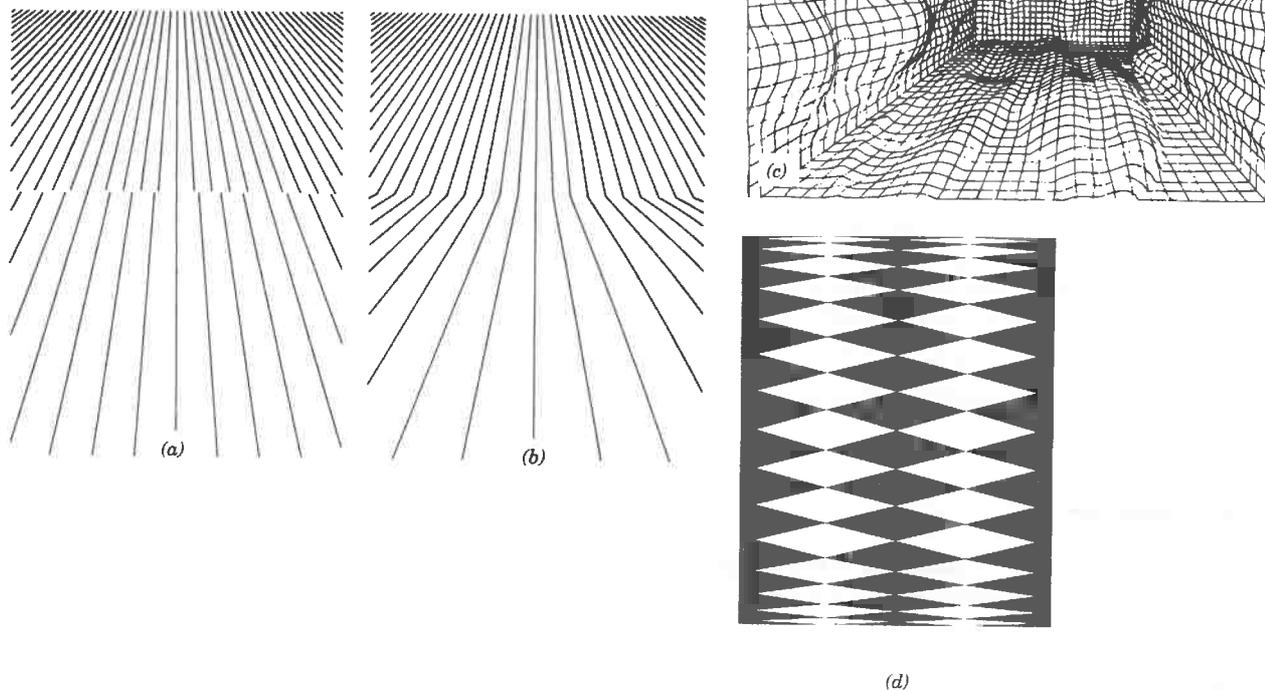


**Figura 9.9** Duas vistas da projeção óptica de uma superfície longitudinal e de uma frontal. (a) A projeção retiniana de textura que vai do grosso ao denso,  $xy$ , é produzida pela superfície longitudinal  $XY$ . Uma superfície frontal,  $yz$ , projeta uma textura uniforme na retina em  $yz$ . (b) Outra vista das projeções ópticas das superfícies  $xy$  e  $yz$ . A projeção longitudinal a partir da superfície  $xy$  é percebida como um "piso"; a projeção frontal a partir da textura uniforme da superfície  $yz$  é vista como uma "parede". (Fonte: Baseado em Gibson, 1950.)

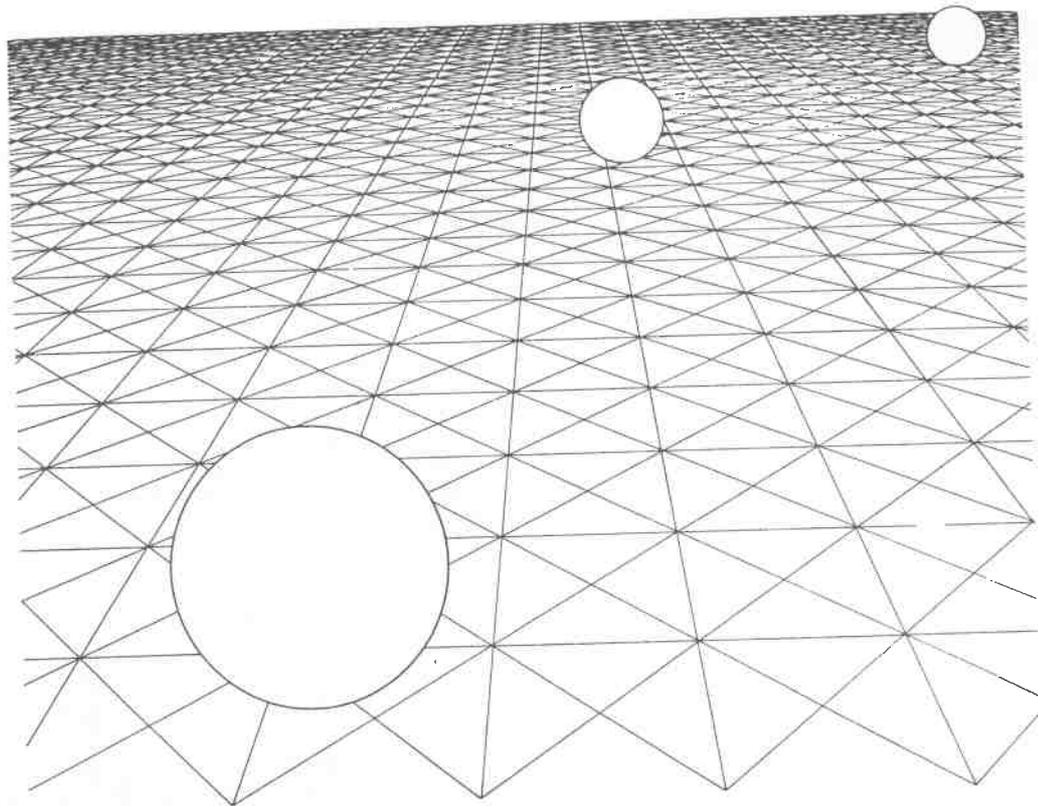
que vai do grosso (isto é, elementos de tamanho grande) ao denso, sendo que os elementos mais grossos estão mais próximos de  $x$ , e os mais densos ou comprimidos mais próximos de  $y$ . O gradiente de textura transmitido em  $xy$  ministra informações de que estamos vendo uma superfície em recuo. Com respeito ao olho, a alteração na textura refletida da superfície  $xy$  é constante. A superfície frontal  $yz$ , perpendicular à linha de visão, projeta uma

imagem diferente. Não há gradiente, já que todos os elementos são eqüidistantes do olho. Assim, o desenho  $yz$  (que projeta uma imagem retiniana  $yz$  na Figura 9.9a) é percebido como uma parede, formando um ângulo de  $90^\circ$  com o piso do desenho  $XY$ , conforme se vê na Figura 9.9b.

Como a Figura 9.10 deixa claro, as alterações de textura fornecem uma fonte tão importante de informações que até mesmo de-



**Figura 9.10** Exemplos de profundidade aparente dado pelos gradientes de textura com discontinuidades e exemplos de alterações não constantes de textura. As discontinuidades na textura indicam uma beirada em (a) e uma quina em (b). Em (c), as discontinuidades nas diversas superfícies aumentam a profundidade aparente de um cômodo "de tela" ou de "arame". Em (d), uma variação um pouco sutil da textura ajuda a determinar a forma da superfície curva de um tambor. (Fonte: (c), cortesia de Carpenter Center for the Visual Arts, Harvard University, Cambridge, Mass.)



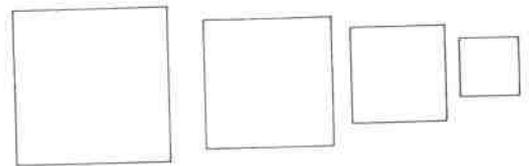
**Figura 9.11** Os discos parecem estar em planos frontais diferentes. Como cada disco cobre aproximadamente a mesma quantidade de superfície da textura, parecem iguais em tamanho, mas situados em distâncias diferentes. Como foi afirmado por Gibson (1979), isso se dá a partir da “regra de quantidades iguais de textura para quantidades iguais de espaço físico”. (Fonte: de U. Neisser, *Processes of Vision*, *Scientific American*, 219, 1968, pp. 204-205. Copyright 1968 by Scientific American, Inc. Todos os direitos reservados.)

senhos simples de linhas criam uma forte impressão espacial. Essa figura traz exemplos de que as curvas e as margens, bem como a forma e a inclinação de uma superfície, são detectadas a partir de descontínuidades na textura e de alterações de textura que não sejam constantes.

Juntamente com a sobreposição e a perspectiva linear, os gradientes de textura podem ser úteis na determinação do tamanho percebido. Neisser (1968) observa que o aumento na densidade da textura sobre a retina, correspondente a um aumento na distância a partir do observador, oferece uma “escala” para o tamanho dos objetos. No caso ideal em que todas as unidades de textura sejam idênticas, as figuras do mesmo tamanho real, mas de imagens retinianas diferentes por causa das distâncias diferentes em que se encontram do observador, irão cobrir o mesmo número de unidades de textura ou sobrepor-se parcialmente a elas (Figura 9.11) sendo, por isso, percebidas como tendo o mesmo tamanho.

### Tamanho Relativo

O sinal de distância, chamado de **tamanho relativo**, aplica-se quando duas formas semelhantes ou idênticas são vistas simultaneamente ou em sucessão rápida. Em tais casos, o estímulo maior geralmente parece mais próximo do observador (p.ex., Hochberg, 1964). A Figura 9.12 ilustra o tamanho relativo como sinal quanto à distância. Esse sinal não requer experiência prévia com os objetos. Em vez disso, em certas situações as imagens das mesmas formas, mas de tamanhos diferentes, são estímulos suficientes para uma relação de profundidade.



**Figura 9.12** Tamanho relativo. Imagens com a mesma forma, mas com tamanhos diferentes, podem fornecer um sinal de profundidade. Nesta figura os quadrados maiores dão a aparência de estarem mais próximos do observador do que os pequenos.

### Percepção Pictórica

Os sinais de perspectiva linear, gradientes de textura e tamanho relativo exprimem um princípio comum de óptica geométrica, relacionando o tamanho retiniano à distância do objeto: o tamanho da imagem de um objeto na retina é proporcional à distância entre ele e o observador. Esses sinais monoculares estáticos incluem diretamente o fato de que o tamanho da imagem retiniana decai quando a distância do alvo aumenta. A aplicação desse princípio facilita muito a representação de profundidade e distância em uma superfície plana bidimensional. O emprego de todos os sinais monoculares estáticos descritos (p.ex., sobreposição, luz e sombra, perspectiva linear) dentro de uma foto ou de um quadro torna possível a **percepção pictórica** — impressão de profundidade dada de uma superfície bidimensional. A Figura 9.13 traz um exemplo.

O quadro mostrado na Figura 9.14 também ilustra a percepção pictórica, mas contém uma mistura bizarra de sinais espaciais. Em-



**Figura 9.13** Percepção pictórica. Há diversos sinais monoculares que se destacam nesta foto aérea. Por causa, especialmente, da perspectiva aérea, os detalhes próximos, representados no primeiro plano, parecem mais claros e mais nítidos do que os detalhes no fundo mais distante. (Cortesia de Margaret Bourke-White Estate, *Life Magazine* © 1934 Time, Inc.)

bora alguns deles estejam empregados de maneira correta, há outros sinais conflituosos, que criam relações espaciais impossíveis.

Outro fator que pode contribuir na percepção pictórica é a quantidade de *detalhes* mostrados em um quadro. Quando vemos uma cena real, percebemos menos detalhes à medida que os elementos vão se distanciando. Assim, a percepção pictórica pode também ser melhorada com a variação dos detalhes dos elementos que parecem estar situados em uma superfície plana. Leonardo da Vinci denominou o gradiente de detalhes em uma pintura como “perspectiva do desaparecimento”, observando que os objetos em um quadro “deveriam ser tanto menos acabados quanto mais remotos” (Bloomer, 1976, p.83). Portanto, como os detalhes maiores são uma característica de proximidade, o pintor pode manipular a distância aparente no quadro plano variando o grau dos detalhes. Observe que o quadro de Vermeer na Prancha Colorida 15 explora esse princípio para realçar o efeito de profundidade.

Um fator especialmente útil na representação da profundidade em fotos e imagens de vídeo geradas por computador é a *imagem borrada*. Mather (1996, 1997) relatou que a variação de imagem borrada entre regiões de uma imagem pode servir como sinal pictórico eficaz de profundidade. Assim, se uma região estiver focalizada com nitidez e uma região próxima estiver borrada, as duas

parecerão se situar em profundidades diferentes. Especificamente, se a borda ou o limite entre duas regiões for nítido a região mais nítida será vista como mais próxima, mas se a borda for borrada a região borrada parecerá mais próxima.

A percepção pictórica pode ser aumentada pela redução dos sinais de *superfície plana* — ou seja, redução das informações que indicam se a imagem é realmente a de uma superfície plana. Por exemplo, quando olhamos para um quadro bidimensional através de um tubo não apenas eliminamos o efeito de moldura que o quadro tem, mas também reduzimos o sinal de que ele é uma superfície plana. Isso realça consideravelmente o efeito de profundidade representada pela imagem do quadro (Schlosberg, 1941). Assim, ver a Prancha Colorida 16 por um tubo torna mais admiráveis os efeitos de profundidade do quadro de Rembrandt. De modo geral, *qualquer* manipulação que reduza a percepção da qualidade estática e sem relevo do plano do quadro melhorará a detecção de suas informações de profundidade.

Os sinais pictóricos descritos nesta seção são estáticos, monoculares e dão a impressão de profundidade a uma superfície bidimensional. Além disso, há várias fontes monoculares importantes de informações dinâmicas, ou cinéticas, que também contribuem para a percepção de profundidade. Contudo, diferentemente dos sinais estáticos, esses sinais monoculares não podem ser representados em imagens bidimensionais. São eles a *paralaxe de movimento*, a *perspectiva de movimento* e a *acomodação*.

## Paralaxe de Movimento

Quando o observador ou os objetos vistos por perto se movimentam, produz-se uma fonte de informações monoculares chamada de **paralaxe de movimento** (do grego *parallaxis*, que significa “mudança”), sobre a profundidade e a distância dos objetos com relação uns aos outros. Especificamente, a paralaxe de movimento refere-se a diferenças no deslocamento, causadas pelo movimento da cabeça, das imagens de objetos situados a distâncias diferentes com relação uns aos outros. Portanto, quando o observador fixa o olhar em algum ponto na cena visual e a cabeça se movimentam (mesmo que muito de leve), parece que os objetos situados mais perto do que o ponto de fixação no campo visual se deslocam com maior rapidez do que os objetos situados à distância. Em suma, os objetos próximos parecem deslocar-se rapidamente e os objetos distantes lentamente.

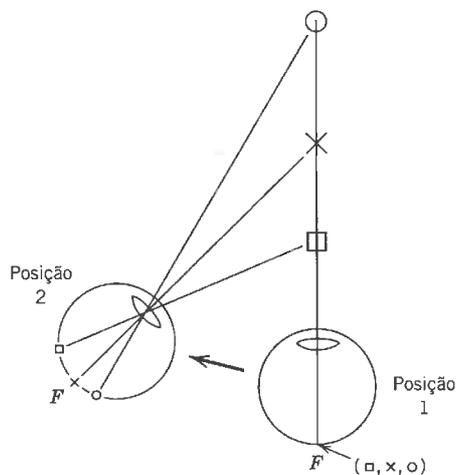
Além disso, a direção aparente do movimento não é a mesma para objetos próximos e distantes. O deslocamento dos que estão mais próximos do que o ponto de fixação parece dar-se em direção oposta ao movimento da cabeça do observador, enquanto o deslocamento dos mais distantes se dá na mesma direção. Assim, tanto a velocidade relativa como a direção do movimento percebido dependem da localização do ponto de fixação do observador. Em conjunto, ambos fornecem uma fonte contínua de informações sobre a posição relativa dos objetos no campo de visão.

A Figura 9.15 representa de maneira sistemática as alterações relativas de velocidade ocorridas nas imagens retinianas de um objeto próximo (um quadrado) e de um objeto distante (um círculo), à medida que os olhos passam da direita (posição 1) para a esquerda (posição 2). Na posição 1, o olho está fixado no X central. O quadrado está na frente do X e o círculo está atrás do ponto de fixação. Porém, quando os olhos se movimentam ligeiramente para a esquerda, da posição 1 para a posição 2 (indicada pela seta), as imagens do quadrado próximo e do círculo distante percorrem distâncias diferentes na retina. Especificamente, com a fixação mantida no X, quando os olhos se movem para a



**Figura 9.14** Esta gravura, intitulada “Perspectiva Falsa”, de William Hogarth, 1754, ilustra como o pintor empregou alguns sinais estáticos de maneira proposadamente errada. A gravura foi usada originalmente como ilustração do frontispício, ou página de título, de um livro, acompanhada de uma descrição sobre o papel da perspectiva que vale a pena repetir: “Quem quer que faça uma gravura sem ter o conhecimento da perspectiva corre o risco de tais absurdos, como os que são mostrados no frontispício.” Evidentemente, além da perspectiva há outros sinais erroneamente aplicados na pintura de Hogarth notadamente a sobreposição e o tamanho relativo. (Fonte: © Corbis Images.)

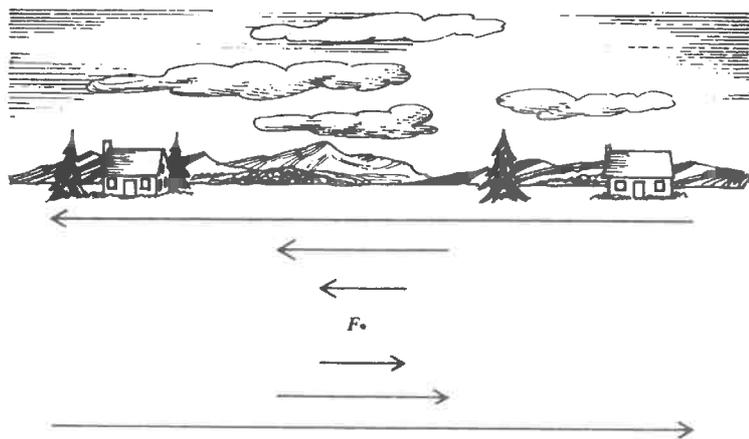
direita — para a posição 2 — a imagem no quadrado próximo percorre uma distância um pouquinho maior na superfície retiniana do que a imagem do círculo distante. Como se vê nessa posição, a distância entre as imagens da fixação X e o quadrado na retina é maior do que a distância entre as imagens do X e do círculo. Assim, com apenas um pequeno movimento na posição do olho a imagem de objetos próximos se desloca por uma distân-



**Figura 9.15** Ilustração esquemática da paralaxe de movimento. Veja a discussão no texto. (Figura cortesia de Janice L. Nerger.)

cia maior na retina, movendo-se, portanto, com mais rapidez através do campo visual do observador do que a imagem de um objeto distante. Graças ao movimento do olho, as imagens de objetos próximos e distantes também se movem em direção oposta umas às outras, com relação ao ponto de fixação. Ao fazer ajustes para a inversão das imagens retinianas, o que se deve à propriedade óptica do cristalino, o observador vê o objeto próximo deslocando-se na direção oposta ao movimento do olho enquanto os objetos distantes parecem deslocar-se na mesma direção dele.

Embora a paralaxe de movimento pareça ser um sinal complexo, ele é, na verdade, uma fonte comum de informações sobre as distâncias relativas dos objetos no espaço, sob condição em que o observador e/ou os objetos do ambiente se movimentam. Assim, isso ocorre também quando a cabeça está relativamente parada e os objetos no ambiente parecem passar por nós como acontece quando andamos de automóvel. A Figura 9.14 ilustra a paralaxe de movimento em uma série conjunta de condições. O diagrama mostra como o terreno parece deslocar-se enquanto o observador fica olhando de dentro um veículo que se move para a esquerda. Enquanto ele mantém a fixação no ponto F, os objetos mais próximos parecem mover-se para a direita, em direção oposta ao movimento do observador, ao passo que os objetos situados além do ponto de fixação parecem mover-se na mesma direção que ele. Além disso, os objetos situados em distâncias diferentes deslocam-se a velocidades diferentes. A velocidade percebida de um objeto diminui quanto mais próximo ele estiver de F (conforme indicado pelo comprimento das setas na figura).



**Figura 9.16** Diagrama esquemático da paralaxe de movimento. Se o observador fixar o olhar em um objeto situado em  $F$  enquanto se desloca para a esquerda, parecerá que as imagens dos objetos mais próximos se movem para a direita, enquanto os mais distantes se moverão para a esquerda. O comprimento da seta indica que a velocidade aparente de objetos no campo visual aumenta em relação direta com a distância em que se encontram do ponto de fixação. (Fonte: Baseado em Gibson, 1950.)

## DEMONSTRAÇÃO

### Paralaxe de Movimento

A paralaxe de movimento pode ser demonstrada simplesmente do seguinte modo: feche um dos olhos e mantenha dois objetos, como os dedos, na linha direta de visão, com um deles a cerca de 25 cm na frente do outro. Se você movimentar a cabeça de um lado para outro com a atenção no dedo mais distante, a imagem do mais próximo parecerá mover-se na direção oposta ao movimento da cabeça. Se você fixar o olhar no dedo mais próximo, parecerá que o mais distante se move na mesma direção da cabeça.

A paralaxe de movimento, que é o movimento relativo aparente dos objetos no campo da visão, proporciona uma fonte importante de informações de profundidade e distância, sendo especialmente eficaz para tarefas espaciais, como a percepção de um objeto em destaque contra o fundo. Como observaremos em uma seção posterior (sobre o *penhasco visual*), a paralaxe de movimento é também um sinal importante empregado por muitas espécies de animais (inclusive os insetos; p.ex., Srinivasan, 1992) para evitar a profundidade.

### Perspectiva de Movimento

Outra fonte de informações sobre profundidade e distância fornecida pelo movimento são os padrões de fluxo óptico descritos no capítulo anterior (veja Figura 8.4). Lembre-se de que os padrões de fluxo óptico criados pelo movimento em direção a uma superfície, ou paralelos a ela, fornecem informações sobre a velocidade e a direção do movimento. Também transmitem informações sobre a *distância* relativa dos objetos ao observador em movimento. J. J. Gibson chamou de **perspectiva de movimento** a fonte de informações sobre a distância dos objetos no padrão de fluxo óptico. Quando o movimento se dá em direção a uma superfície, por exemplo, a localização dos objetos com relação à pessoa pode ser calculada com base na mudança contínua na perspectiva ou na posição da qual os objetos são vistos (p.ex., Clocksin, 1980; McCleod & Ross, 1983). Você já teve a experiência familiar de, ao se movimentar por um terreno, ver que os objetos próximos parecem passar com mais rapidez do que os distantes, produzindo um exemplo de imagens que passam por você ou fluem da imagem retiniana, propiciando com isso uma fonte intensa de informações para a distância relativa.

## Acomodação

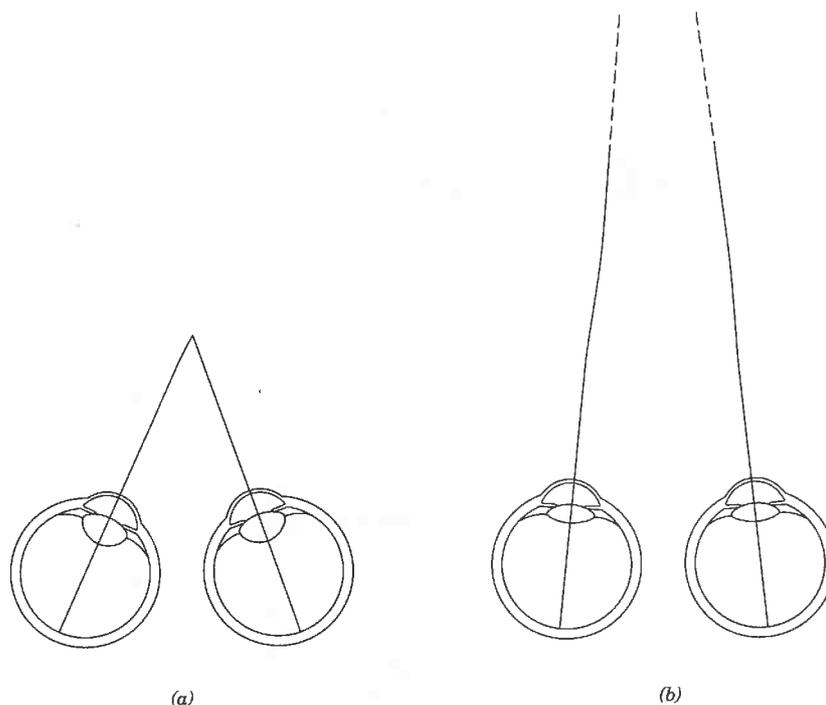
Descrevemos a *acomodação* no Capítulo 3 (veja Figura 3.17) como um mecanismo pelo qual os músculos oculomotores ajustam os sinais dos músculos ciliares a fim de colocarem o cristalino em foco para formar uma imagem retiniana nítida. Como as respostas da acomodação diferem no enfoque de objetos próximos ou distantes, os sinais oculomotores (ou seja, o grau de contração muscular) podem fornecer informações da localização espacial de um alvo. O ajuste do cristalino está correlacionado à distância dos objetos observados, e a acomodação pode, pois, ser uma fonte de informações sobre profundidade e distância. Contudo, provavelmente a acomodação é um recurso muito limitado de informações espaciais. Para os seres humanos, ela é útil apenas para distâncias de até cerca de 2 metros.

Antes de passarmos para uma discussão sobre indicações *binoculares*, apresentaremos uma fonte adicional de informações de natureza cognitiva que poderá contribuir para a percepção espacial: o *tamanho familiar*.

## Tamanho Familiar

Quando vemos objetos familiares, eles não são apenas sinais visuais de profundidade e distância, mas também sinais não visuais das características espaciais dos objetos, como tamanho e forma, que obtemos como resultado da experiência passada. Conhecendo o tamanho de muitos objetos em nossas imediações, podemos fazer, de memória, estimativas razoavelmente exatas do tamanho deles. Embora o **tamanho familiar** não seja, estritamente falando, um sinal visual de profundidade ou de distância, pode contribuir de maneira significativa para a percepção espacial. Porém, ainda não se sabe até que ponto usamos essas informações sobre o tamanho.

Diversos estudos sugerem que o papel do tamanho familiar na determinação do tamanho aparente dos objetos depende muito das condições nas quais eles são observados. Na avaliação do tamanho de objetos familiares em condições normais de visão, com preponderância dos sinais visuais, o tamanho familiar talvez não seja usado (Fillenbaum, Schiffman & Butcher, 1965). Em contraste, quando os objetos são observados em condições deficientes, como com sinais pouco claros ou ausentes de iluminação e distância, o conhecimento do tamanho dos objetos — ou seja, o *tamanho familiar* — talvez seja importante na avaliação de julgamentos do tamanho (Schiffman, 1967). Em outras palavras, usam-se informações sobre tamanho baseadas em experiências passadas com objetos semelhantes quando faltam sinais visuais de distância ou quando eles estão significativamente reduzidos.



**Figura 9.17** Convergência ocular. (a) Convergência ocular ao se focalizar um alvo próximo; os olhos giram para dentro, em direção um ao outro. (b) Posições relativas dos olhos ao focalizarem um alvo distante; as linhas de visão de ambos os olhos são essencialmente paralelas. A acomodação ocular também é diferente nas duas condições de visão. Em (a), o cristalino se torna abaulado para enxergar perto; em (b) o cristalino está relativamente plano.

Em certas condições, o tamanho conhecido de um objeto familiar afeta a percepção da sua *localização*. Em uma experiência, Epstein (1963, 1967) apresentou representações autênticas de três moedas (fotos de uma moeda de 10 centavos, uma de 25 e outra de 50) que, naturalmente, tinham tamanhos familiares diferentes. Contudo, sem que os observadores o soubessem, o tamanho das moedas foi alterado, de modo que suas figuras pareciam idênticas no tamanho físico. Especificamente, a fotografia da moeda de 10 centavos foi ampliada para o tamanho da de 25, e a fotografia da moeda de 50 centavos foi reduzida para o tamanho da de 25. Elas então foram vistas em condições de sinais visuais reduzidos (visão restrita a um só olho, luz fraca, etc.). Quando foram apresentadas à *mesma* distância (todas elas projetando o mesmo tamanho na retina), os observadores julgaram a de 10 centavos, que estava maior do que o normal, como mais próxima, enquanto a de 50 centavos, menor do que o normal, foi considerada mais distante. Isso indica que, quando as indicações de distância são insuficientes, o tamanho familiar dos objetos pode influir no julgamento do observador sobre a distância (veja também Fitzpatrick, Pasnak & Tyler, 1982; Gogel e DaSilva, 1987).

## SINAIS BINOCULARES

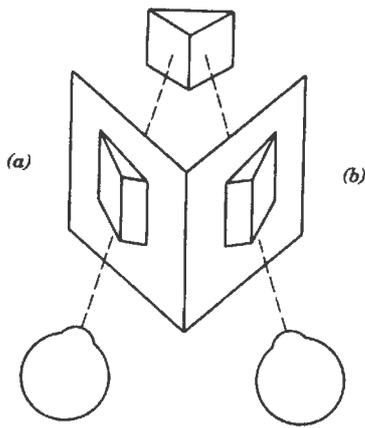
Os sinais monoculares fornecem uma grande quantidade de informações espaciais e, com base na visão monocular, pode-se executar muitas tarefas visualmente guiadas que exijam alguma perícia. Para serem recebidas, porém, algumas fontes de informações espaciais exigem a atividade de ambos os olhos. Em capítulos anteriores, descrevemos alguns dos aspectos estruturais e funcionais da visão binocular. Agora apresentaremos os tipos de informações espaciais apresentados pela percepção com os dois olhos: os **sinais binoculares**.

## Convergência

A **convergência** se refere à tendência de ambos os olhos se voltarem na direção um do outro em ação coordenada para se fixarem em alvos próximos (Figura 9.17). Por outro lado, os alvos localizados longe do observador são visualmente fixados com as linhas de visão dos olhos paralelas uma à outra. Como há muitos músculos ligados ao globo ocular para controlar o grau de convergência, os diferentes estados de tensão muscular necessários à visão de objetos próximos ou distantes podem proporcionar um sinal de profundidade ou de distância. Porém, assim como a acomodação, os movimentos oculares convergentes como fonte de informação de distância são úteis apenas para objetos próximos.

## Disparidade Binocular

Os animais cujos olhos são direcionados para a frente vêem, com ambos, uma região em comum relativamente grande do campo visual (isto é, eles possuem áreas relativamente grandes de superposição binocular; veja Figura 3.16). Porém, dentro dessa região de superposição os dois olhos recebem imagens relativamente diferentes da mesma cena tridimensional. A Figura 9.18 apresenta as visões diferentes da mesma cena, vistas pelo olho esquerdo e pelo direito. No ser humano, essa diferença acontece porque os olhos estão situados a uma distância de mais ou menos 5 a 7,5 cm um do outro. As visões ligeiramente diferentes podem ser observadas com facilidade visando-se um objeto próximo com um olho de cada vez. Dependendo da localização do ponto de fixação, o campo visual de um olho é um pouco diferente do campo visual do outro (Figura 9.19). Essa diferença nas duas imagens retinianas chama-se **disparidade binocular** (ou, às vezes, **paralaxe binocular**). A Figura 9.20 mostra como a disparidade é criada em uma



**Figura 9.18** As visões diferentes de uma cubo por ambos os olhos. (a) A imagem de uma cubo tridimensional vista pelo olho esquerdo. (b) A imagem vista pelo olho direito.

simples condição de visão em que haja duas linhas situadas a distâncias diferentes do observador.

É impressionante a capacidade do sistema visual no uso das informações sobre a disparidade binocular para detectar a diferença de profundidade entre os objetos. De acordo com Yellot (1981), pode-se detectar uma diferença de profundidade entre dois objetos que corresponda a uma diferença de um micrômetro (0,001 mm) na disparidade retiniana. Isto é, detecta-se uma diferença de apenas um micrômetro na posição das imagens de um objeto re-

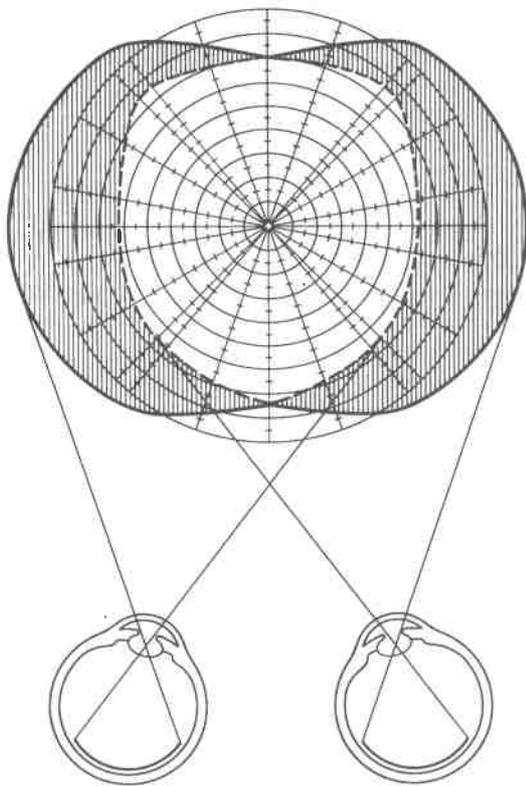
fletido em ambas as retinas. À luz do fato de que a largura dos cones da fóvea varia entre 0,003 e 0,338 mm, isso significa que o sistema visual pode detectar, com segurança, disparidades retinianas substancialmente inferiores ao diâmetro da maioria dos fotorreceptores retinianos!

Conforme ilustra a demonstração que se segue, o uso da disparidade binocular oferece um tremendo trunfo para a visão binocular.

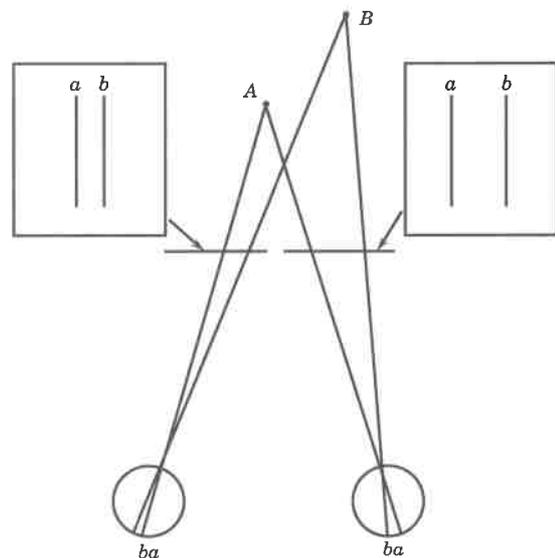
Na próxima seção, examinaremos também o papel da disparidade binocular para a percepção espacial, especialmente para profundidade e de distância.

### DEMONSTRAÇÃO Profundidade Baseada na Disparidade Binocular

Veja esta ilustração prática do julgamento exato de profundidade se tornar possível com a disparidade binocular. Se você segurar verticalmente dois objetos como lápis, um em cada mão, à distância de um braço, poderá detectar se um deles está a não mais de 1 mm mais perto do que o outro. A contribuição da disparidade binocular ficará evidente se você fechar um olho enquanto faz isso. Você observará imediatamente que os sinais monoculares restantes são insuficientes para detectar a diferença de profundidade entre os dois lápis. Uma ilustração mais prática e familiar da disparidade binocular é tentar colocar linha em uma agulha com um dos olhos fechado. Tente isso e imediatamente perceberá a importância da disparidade binocular.



**Figura 9.19** Os campos visuais aproximados de cada olho (área listada cinza) e o campo visual binocular (área branca central). Observe que a área vista por um olho não coincide totalmente com a área vista pelo outro olho. A área branca central vista por ambos os olhos é o campo visual binocular.



**Figura 9.20** Percepção da distância relativa de dois objetos com informações de disparidade binocular. A percepção da distância relativa entre duas linhas se deve à leve disparidade na separação das imagens retinianas projetadas no olho direito e no esquerdo (isto é, a distância entre *a* e *b*), conforme indicado pelas projeções nas duas caixas. A distância entre as imagens retinianas das duas linhas é maior no olho direito. Ou seja, a distância *ba* no olho direito é maior do que a distância *ba* no olho esquerdo, e a diferença nessas distâncias especifica o grau de disparidade binocular. De modo geral, quanto mais afastado um objeto estiver de outro, maior a disparidade.

## PONTOS RETINIANOS CORRESPONDENTES E O HORÓPTERO

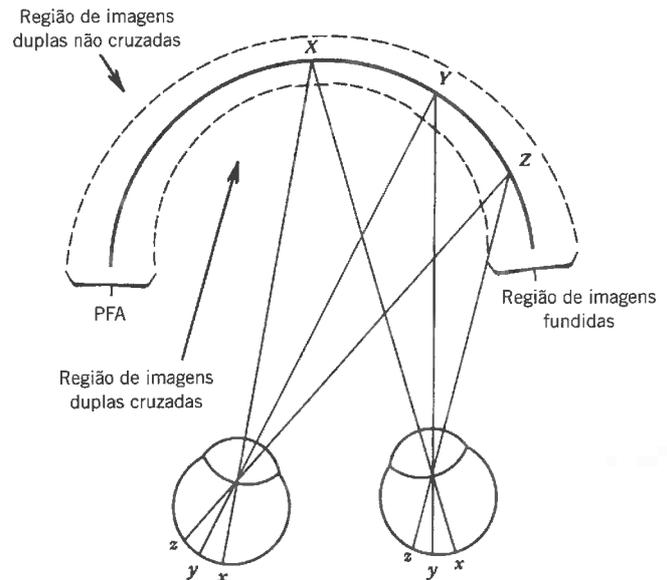
A disparidade pode ainda ser analisada em busca de informações de profundidade e distância, tendo como base alguns princípios fundamentais da óptica fisiológica. Quando se fixa um alvo relativamente pequeno ele forma imagens em ambas as fóveas. Isso significa que se a retina esquerda e a imagem do alvo nela incidente fossem sobrepostas à retina direita com sua respectiva imagem do alvo, de modo a coincidirem as fóveas, ambas as imagens do alvo também coincidiriam. Essas localizações retinianas idênticas nos dois olhos são chamadas de **pontos retinianos correspondentes**.

As imagens de outros alvos não fixados, mas localizados mais ou menos à mesma distância do alvo de fixação, também se projetarão sobre pontos idênticos ou correspondentes em ambas as retinas. Eles se fundirão, sendo vistos como um só. Para um dado grau de fixação e convergência, existe um conjunto de pontos espaciais que se projetam nos pontos retinianos correspondentes. Um alvo situado em qualquer um desses pontos é visto como único e percebido à mesma distância do observador que o alvo de fixação.

Se mapearmos todas as localizações espaciais onde os alvos estejam mais ou menos à mesma distância de fixação ou de convergência e se projetem sobre pontos retinianos correspondentes traçaremos uma superfície chamada de **horóptero** (Figura 9.21). O horóptero é uma superfície curva imaginária, ou virtual, que passa pelo ponto de fixação; cada ponto situado em sua superfície projeta uma imagem que incide nos pontos retinianos correspondentes de ambos os olhos, aparecendo como uma só. Contudo, dada uma distância específica de fixação os alvos que *não* estejam no horóptero produzem *diplopia*, ou imagens duplas, porque estimulam **pontos retinianos não correspondentes**, ou desiguais. Ou seja, os alvos localizados mais perto ou mais longe do que o alvo fixado projetam imagens em posições *diferentes* em cada retina, dando surgimento a disparidades e a imagens duplas.

Uma exceção a essa generalização envolve pontos retinianos não correspondentes projetados de uma região espacial dentro de uma faixa horizontal estreita que circunda o horóptero. Essa região, mostrada na Figura 9.21, chama-se **área de fusão de Panum (PFA)** (do nome do fisiologista dinamarquês que percebeu sua importância). Os pontos espaciais que estimulam os pontos retinianos não correspondentes, mas que estão dentro da PFA, também se fundem em uma imagem única. Ou seja, a PFA é uma pequena zona ao redor de um horóptero que projeta imagens levemente discrepantes, que também parecem fundidas. Os estímulos espaciais dentro da PFA são vistos como objetos únicos que aparecem, a partir do observador, a distâncias um pouco diferentes da distância de fixação.

Em suma, para uma dada distância de fixação há uma região espacial de imagens únicas fundidas, flanqueadas por áreas de imagens duplas. Qualquer que seja a distância do alvo que fixarmos, outros alvos à mesma distância se projetam nos pontos retinianos correspondentes nos dois olhos e aparecem como imagem única; os alvos em distâncias diferentes (e fora da PFA) se projetam nos pontos retinianos não correspondentes, aparecendo como duplos. Para cada ponto de fixação há um horóptero diferente: somente os objetos situados nas *mesmas* convergência e distância de fixação se fundem, parecendo únicos. Em outras palavras, para cada distância de fixação há um conjunto separado e distinto de pontos retinianos correspondentes, bem como um horóptero diferente (juntamente com sua PFA apropriada) nos quais os objetos aparecem como únicos.



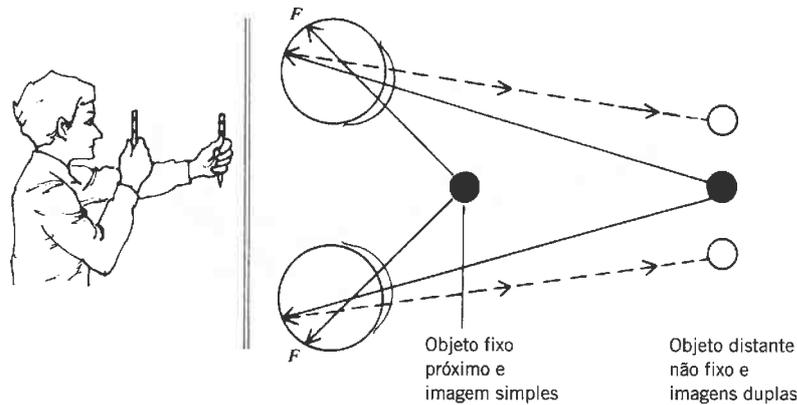
**Figura 9.21** Versão de um horóptero e da PFA para uma distância de fixação. O horóptero é um plano imaginário que mapeia as localizações de todos os objetos cujas imagens incidem nos pontos retinianos correspondentes e aparecem como únicas. Assim, as imagens dos pontos X, Y e Z incidem nos pontos retinianos correspondentes nas duas retinas, sendo vistas como pontos únicos. Enquanto não incidem nos pontos retinianos correspondentes, as imagens dos pontos espaciais dentro da PFA também se fundirão, sendo vistas como uma só. Os pontos espaciais que não estão no horóptero (incidindo fora da PFA) aparecerão como imagens duplas. Os objetos situados mais distante do que a região de fixação (isto é, mais longe do que o horóptero e a PFA) produzem imagens duplas com disparidade cruzada. O horóptero (e a PFA associado) varia com a distância de fixação e a convergência ocular, de modo que fixações diferentes produzem horópteros e áreas de fusão diferentes.

A percepção de imagens duplas produzidas pela estimulação dos pontos retinianos não correspondentes é dada na demonstração que se segue.

### DEMONSTRAÇÃO Imagens Duplas e Disparidade Binocular

Segure um objeto perto e outro longe, conforme indicado na Figura 9.22. Se você fixar a vista no objeto mais próximo, produzirá uma única imagem dele e, ao mesmo tempo, criará uma imagem dupla do objeto distante não fitado. Isso acontece porque a imagem do objeto próximo incide nos pontos retinianos correspondentes das fóveas (F) de ambos os olhos, enquanto as imagens do objeto distante não fitado caem nos pontos retinianos não correspondentes de cada retina. As linhas cheias representam a luz refletida do objeto próximo e do distante. As duas linhas interrompidas mostram os caminhos aparentes das imagens projetadas do objeto distante não fitado, indicando que ele projeta duas imagens separadas, e por isso aparece como duplo.

Essa demonstração resume alguns dos pontos que acabamos de expor. Quando a fixação está no objeto próximo, a imagem incide nas fóveas de ambos os olhos. Contudo, a imagem do objeto distante não fitado incide nos pontos retinianos não correspondentes, sendo vistas duas imagens diferentes desse objeto. Embora não representada nessa figura, quando a fixação está no

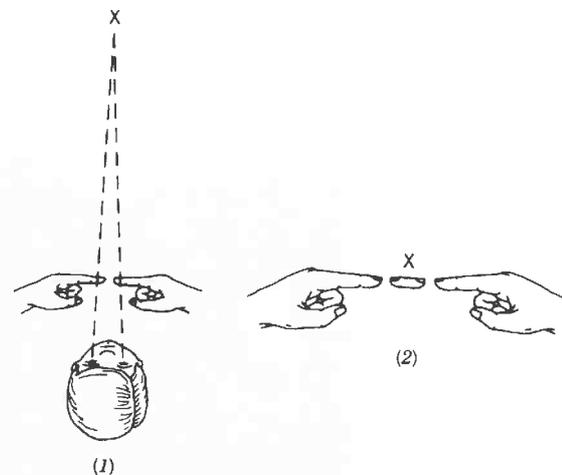


**Figura 9.22** Imagens duplas e disparidade binocular. Veja a demonstração abaixo.

objeto distante a imagem do objeto próximo não fitado aparecerá como dupla (e as duas imagens aparecerão cruzadas em relação uma à outra). Na verdade, a figura de imagens duplas é diferente, dependendo de parecer que elas estejam diante do alvo fitado ou atrás dele. Os objetos além do ponto de fixação são vistos em *disparidade não cruzada*, ao passo que os objetos adiante do alvo fitado aparecem em *disparidade cruzada*. Assim, o padrão de imagens duplas (cruzadas *versus* não cruzadas) pode servir de indicação da distância relativa (embora geralmente, talvez, não tenhamos muita consciência de uma delas).

Resumindo, enquanto a fixação for mantida no mesmo ponto sobre um dado horóptero todos os objetos situados em qualquer ponto do seu plano produzirão imagens sobre as áreas retinianas correspondentes que, por isso, parecerão únicas. Os objetos mais próximos ou mais distantes do que o horóptero (objetos situados fora da PFA de determinado horóptero) incidem em pontos retinianos não correspondentes. Conseqüentemente, não se fundem, sendo vistos como imagens duplas. Os objetos situados mais próximos do que o horóptero são vistos em disparidade cruzada, e os mais distantes, em disparidade não cruzada.

Embora a figura de imagens duplas esteja diretamente ligada à distância dos objetos com relação ao horóptero, as imagens duplas de objetos não fitados são normalmente suprimidas, passando despercebidas, exceto em condições especiais. A demonstração sobre "imagens-fantasma", a seguir, ilustra esse ponto.



**Figura 9.23** Disparidade binocular e imagens-fantasma.

Essa "salsicha" é o resultado da fusão das imagens das pontas de cada dedo, como são vistas pelo olho esquerdo e pelo direito. Podemos verificá-lo com facilidade piscando os olhos alternadamente; prevalece, então, a produção da imagem monocular e a salsicha desaparece. No entanto, com os dois olhos abertos as duas imagens monoculares se fundem e a salsicha logo reaparece. (Esta demonstração foi descrita por Sharp, 1928.)

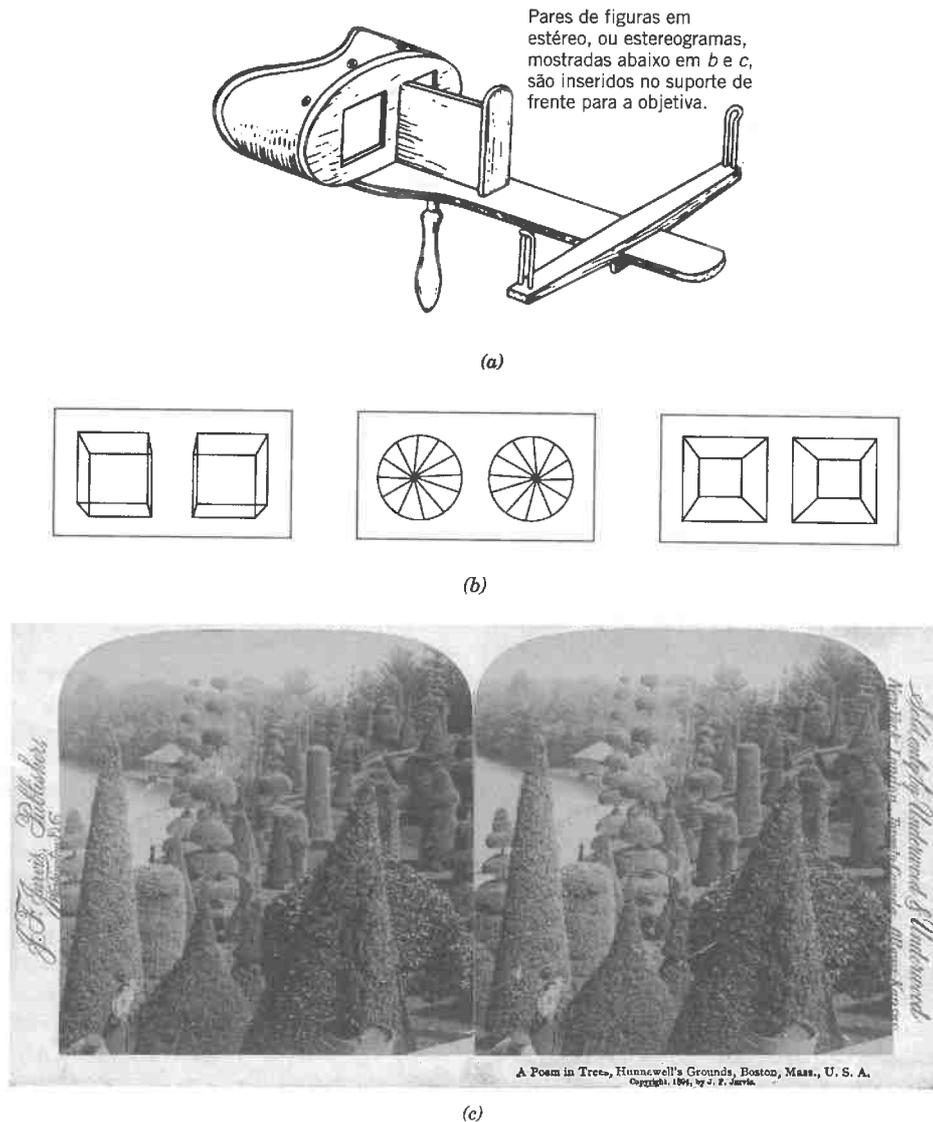
## DEMONSTRAÇÃO

### Disparidade Binocular e Imagens-Fantasma

Pode-se usar a disparidade binocular e as imagens duplas para criar efeitos divertidos que podem ser facilmente experimentados seguindo-se essas instruções. Conforme mostrado na Figura 9.23, traga os indicadores a cerca de 30 cm diante do rosto, ao nível dos olhos, de modo que os dedos apontem um para o outro, mas separados por cerca de 2,5 cm (1). Olhe para um ponto diretamente em frente, para além dos dedos, numa parede ou superfície distante, como é mostrado na figura pela fixação no X. Entre os dois dedos aparecerá uma forma flutuante: uma falange-fantasma ou uma salsicha (2). Com um pouco de treino, você conseguirá focalizar a "salsicha" e, movimentando os dedos de leve de um lado para outro, poderá experimentar alguns efeitos espacialmente curiosos. Além disso, quando você levar os dedos devagar em direção à superfície para a qual estiver olhando o tamanho da salsicha encolherá.

### Disparidade Binocular e Estereopsia

A disparidade das imagens projetadas em cada olho causa a aparência singular de profundidade com solidez, chamada **estereopsia** (do grego *stereos*, "sólido", e *opsis*, visão; donde, "vista sólida"). Um dos exemplos mais expressivos de estereopsia é o interessante efeito de profundidade experimentado quando se vêem *slides* no familiar visor estéreo (como o View Master). O visor estéreo original, chamado **estereoscópio**, era um instrumento óptico criado em 1838 pelo físico inglês Charles Wheatstone, que imaginou ser possível produzir uma impressão artificial de profundidade lançando em cada olho fotografias semelhantes, porém com uma ligeira diferença, chamadas **estereogramas** (também chamadas *pares estéreos* ou *meios-campos estéreos*.) Na Figura 9.24a é apresentado um estereoscópio de estilo vitoriano, popular nos meados e no final do século XIX; nas Figuras 9.23b e 9.23c são mostrados alguns exemplos de estereogramas.



**Figura 9.24** (a) Um estereoscópio manual típico apresentando imagens diferentes a cada olho. Oliver Wendell Holmer, Sênior (pai do renomado do Supremo Tribunal dos EUA) criou esse tipo de estereoscópio. (b) Três estereogramas lineares simples. Os elementos dos pares de figuras es dispostos de tal maneira que, quando vistos em estereoscópio, fundindo-se, vê-se um único objeto em profundidade. As figuras de cada estereogra representam o que seria visto pelo olho esquerdo e pelo direito ao verem realmente essas cenas lineares. (c) Uma das primeiras fotos em estereogra Quando vistas através de um estereoscópio, a imagem esquerda e a direita se projetam no olho esquerdo e no direito, respectivamente. Ao se fundir vê-se uma só imagem, contendo um "Poema em Árvores", em profundidade estereoscópica. Embora as duas fotos pareçam idênticas, um exame perto revela ligeiras diferenças. Na verdade, o estereograma se compõe de duas visões ligeiramente diferentes da mesma cena, fotografando-se ca uma aproximadamente a partir da posição de cada olho. Assim, a fotografia da esquerda é a imagem vista pelo olho esquerdo, e a da direita, a imag vista pelo olho direito. A ligeira diferença entre as duas imagens resulta na disparidade binocular, e quando elas são mostradas separadamente a ca olho em um estereoscópio a cena surge em profundidade. (Fonte: Cortesia Harvey Schiffman.)

Os estereogramas são, pois, pares de fotos que representam a visão de objetos e cenas observadas separadamente pelos olhos. Quando as fotos ligeiramente desiguais são emparelhadas corretamente e vistas no estereoscópio, a cena aparece em profundidade estereoscópica; ou seja, tem-se uma experiência vívida e convincente de uma única cena tridimensional.

O visor estéreo View Master executa a mesma função do estereoscópio no sentido de fornecer ao observador duas fotos diferentes da mesma cena, tiradas com uma câmera estéreo — uma câmera com duas lentes separadas uma da outra pela mesma distância aproximada entre os olhos. As duas fotos apresentam uma leve diferença, correspondente ao que se vê com o olho esquerdo e com o direito. Ao serem processadas e apresentadas isoladamente,

por meio de um visor estéreo, ao olho ao qual cada uma se destina (garantindo que o olho esquerdo veja somente a foto tirada com a lente esquerda e o olho direito veja somente a foto tirada com a lente direita), as imagens se fundem, ocorrendo o surpreendente efeito da estereopsia.

Dentro de certos limites, quanto maior a disparidade entre duas fotos mostradas no estereoscópio, ou visor estéreo, tanto maior a impressão de solidez, ou profundidade tridimensional. Isso sugere uma questão geral concernente à relação entre o grau de estereopsia e a distância dos objetos quando o mundo é visto com visão binocular. Normalmente, a visão de objetos próximos requer maior convergência dos dois olhos e produz maior disparidade. Donde, quanto mais perto o objeto estiver do c

servador, maior o efeito de profundidade estereoscópica. Por exemplo, quando olhamos para a palma da mão mantida junto ao rosto, surgem imagens desiguais, o que produz um efeito muito forte de tridimensionalidade. Quando vistos de muito perto em visão binocular, a forma redonda e sólida dos dedos e os sulcos e cristas da palma destacam-se em profundidade nítida. (Feche um dos olhos de repente, e os intensos efeitos tridimensionais se perderão!) Em contraste, ao focalizar objetos muito distantes não há, virtualmente, convergência ocular, de modo que as imagens recebidas por cada olho são quase idênticas, com pouca ou nenhuma disparidade binocular. Como consequência, à medida que aumenta a distância dos objetos com relação ao observador atenua-se a disparidade binocular e eles parecem cada vez mais planos.

Os efeitos perceptuais que resultam da disparidade binocular podem apresentar consequências significativamente práticas. Como o sistema visual é sensível a informações de disparidade binocular muito pequena, a visão estereoscópica nos permite detectar diferenças mínimas entre imagens semelhantes. Por exemplo, ela pode ajudar a detectar falsificações monetárias. Se cada olho vir uma nota verdadeira, não haverá disparidade entre as imagens e aparecerá uma só imagem plana unificada da nota. Contudo, se um dos olhos vir uma nota falsa (mesmo uma muito boa) e o outro vir uma verdadeira a disparidade entre as duas imagens exporá imediatamente as leves diferenças. Algumas áreas parecerão destacar-se de outras. Do mesmo modo, os peritos em balística executam exames estereoscópicos com ampliações de fotos de projéteis diferentes para descobrir se eles foram disparados pela mesma arma (Bloomer, 1976). Se as marcas forem idênticas (isto é, se não existirem disparidades) — o que seria o caso se a mesma arma disparasse ambos os projéteis — então se veria uma única imagem fundida.

**Anáglifos** Provavelmente, a forma mais familiar (e conveniente) de experimentar a estereopsia é usar um estereoscópio. A estereopsia efetiva pode ser experimentada vendo-se um **anáglifo** de um estereograma (*anáglifo* deriva do grego, e significa “esculpido em baixo relevo”). O *anáglifo* é uma versão especial de um estereograma produzido pela impressão de pares de estereos, um sobre o outro, com tintas diferentes (geralmente vermelho e verde) para se produzir uma figura complexa. Quando o *anáglifo* é visto normalmente as duas cores impressas uma sobre a outra criam uma imagem confusa. No entanto, quando vistas com óculos especialmente coloridos (de cores diferentes, vermelho ou verde, no olho esquerdo e no direito) cada olho fica com sua imagem apropriada (o olho com a lente vermelha vê somente a imagem verde e o olho com a lente verde vê somente a imagem vermelha), e o *anáglifo* é visto em profundidade estereoscópica. A maioria dos filmes em 3D emprega o processo *anaglífico*; é por isso que é preciso usar óculos com lentes coloridas, uma vermelha e outra verde, para vê-los estereoscopicamente.

## Rivalidade Binocular

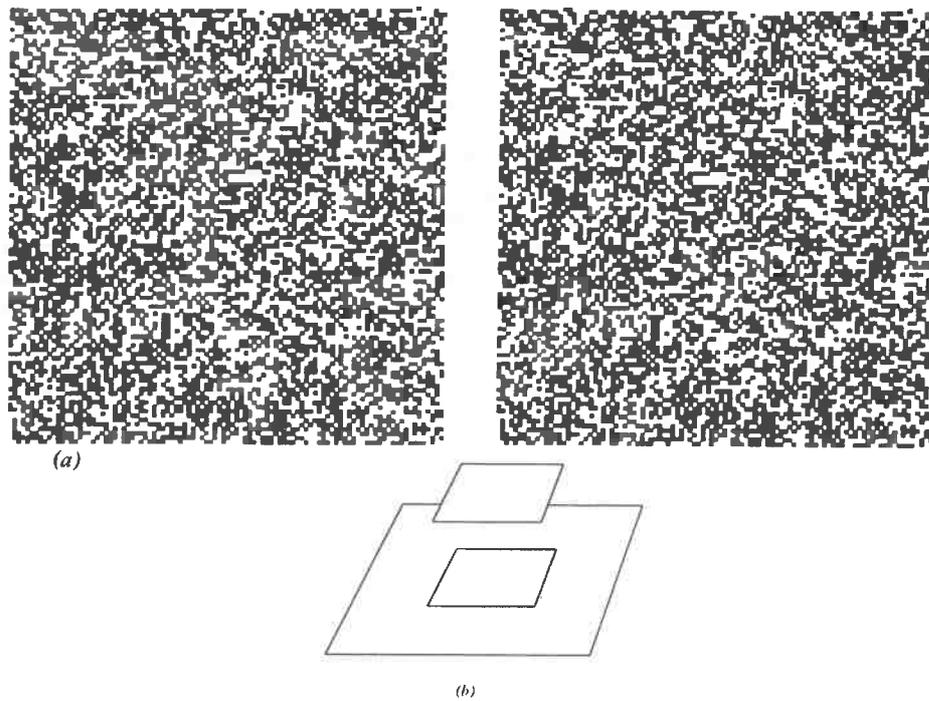
Como já observamos, a fusão das imagens projetadas no olho esquerdo e no direito ocorre quando ambas são razoavelmente semelhantes. A evolução do cérebro e do sistema visual se deu para antecipar e processar apenas estimulações semelhantes e correlatas em cada olho. Todavia, quando as duas imagens são muito diferentes, de modo que as imagens retinianas de cada olho não se correlacionam, resulta um fenômeno pouco comum, chamado **rivalidade binocular**. A bem da verdade, a rivalidade binocular é uma ocorrência de visão não natural e forçada, raramente encontrada fora de um laboratório de percepção. Contudo, a compreensão de como o sistema visual lida com as condições de riva-

lidade binocular pode revelar estratégias perceptuais fundamentais empregadas pelo sistema visual para resolver a ambigüidade visual. Além disso, existe uma importância clínica: os efeitos perceptuais da rivalidade binocular estão intimamente ligados aos de certos transtornos visuais, como ambliopia e estrabismo (discutidos no Capítulo 11), que reduzem ou impossibilitam a visão binocular efetiva.

Quando as condições de visão criam a rivalidade binocular, há diversos resultados possíveis. As imagens muito diferentes projetadas no olho direito e no esquerdo podem fundir-se para fornecer uma imagem complexa um pouco frágil e efêmera, ou uma imagem pode predominar sobre a outra. Ou seja, em determinado momento pode predominar a imagem de um olho, suprimindo aparentemente a imagem do outro. Além disso, pode haver alternância ou flutuação espontânea no predomínio de um olho para outro (p. ex., O'Shea, 2000, para uma extensa biografia sobre a rivalidade binocular; veja Papathomas *et al.*, 1999, para uma análise e avaliação de aspectos teóricos sobre a rivalidade binocular).

Uma das controvérsias associadas à rivalidade binocular se refere ao lugar do sistema visual em que essa rivalidade é mediada e resolvida. A mediação será periférica, ou seja, uma consequência da supressão na imagem monocular em um dos olhos? Ou o predomínio momentâneo de uma percepção sobre a outra seria o produto do processamento cognitivo envolvendo mecanismos centrais em centros visuais mais elevados do cérebro, em uma tentativa de resolver a ambigüidade visual e construir uma única percepção significativa a partir dos estímulos monoculares conflitantes?

Embora aqui não possamos examinar em detalhes os processos neurais que medeiam a rivalidade binocular, existem indícios de alterações na atividade neural em regiões corticais particulares que correspondem diretamente às alterações perceptuais típicas da rivalidade binocular. Dois estudos representativos esclarecem a direção das pesquisas atuais. Lumer *et al.* (1998) estudaram os processos corticais subjacentes ao predomínio e aos efeitos de supressão na rivalidade binocular usando o imageamento por ressonância magnética funcional (fMRI). Observaram que as regiões do cérebro humano intimamente envolvidas em tarefas visuais que normalmente requerem deslocamentos espaciais de atenção e interpretação de estímulos (em especial as áreas corticais frontal e parietal) predominam de maneira igual nas tarefas de rivalidade binocular. Tong *et al.* (1998), também usando a técnica fMRI de imageamento cerebral, observaram que o conteúdo dos estímulos vistos em uma tarefa de rivalidade binocular afetava diretamente a atividade neural em regiões cerebrais específicas. Esses pesquisadores criaram uma condição de rivalidade em que a imagem de uma fisionomia era apresentada a um olho enquanto a imagem de uma casa era apresentada simultaneamente ao outro, com o resultado de que as alternâncias espontâneas entre ver a casa e ver a fisionomia ocorriam com a diferença de poucos segundos. Quando predominava a percepção da imagem da fisionomia, uma região conhecida do cérebro que responde seletivamente a fisionomias (mas não a casas) mostrava-se altamente ativa. Quando predominava a percepção da casa, uma região cerebral que respondia intensamente a casas (mas não a fisionomias) mostrava aumento na atividade neural. Em poucas palavras, quando há competição e interação de estímulos na percepção consciente as regiões cerebrais ligadas ao processamento de classes específicas de estímulos em competição apresentam uma elevação da atividade neural. Assim, cada alternância notada na percepção ocorrida na rivalidade binocular é mediada por uma atividade nas regiões corticais específicas. Esses resultados também apóiam a idéia de que a rivalidade binocular envolve um mecanismo central. Sem dúvida, sua base é mais complicada do que a mera supressão de imagens monoculares (p. ex., Lee & Blake, 1999).



**Figura 9.25** Estereograma de pontos aleatórios. Quando as imagens são examinadas com um só olho em (a) parecem compostas de elementos uniformemente aleatórios, sem características de profundidade, mas quando se fundem estereoscopicamente vê-se um quadrado central flutuando acima do fundo em profundidade vívida (conforme mostrado em b). De modo semelhante, quando se vê um anáglifo desse estereograma com lentes adequadamente coloridas vê-se um quadrado central acima do contorno. (Fonte: De B. Julesz, *Foundations of cyclopean perception*, Chicago: University of Chicago Press, 1971, p. 21. Reimpresso com permissão do autor e do editor.)

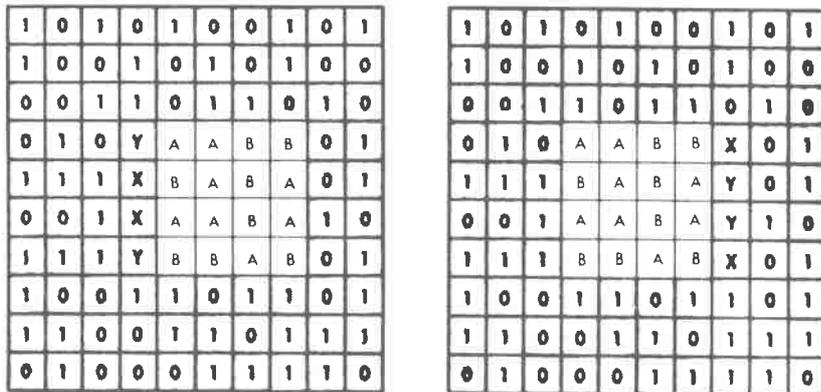
**Percepção Ciclóptica**

Bela Julesz (1964, 1965, 1971, 1978) criou uma forma pouco comum e inovadora para se ver em estéreo empregando um único tipo de estereograma (Figura 9.25a), a qual é propiciada por uma disposição aparentemente casual de elementos em branco e preto. Chamou o efeito produzido pela visão desses tipos de estereograma de **percepção ciclópica**, porque a imagem estéreo especial projetada em cada olho parece sem sentido em si mesma. A percepção significativa de objetos em profundidade nesses estereogramas somente aparece *depois* que as duas imagens se combinam em alguma área central visual. Nas palavras dele:

*Os cíclopes míticos olhavam para o mundo com um único olho situado no meio da testa. Nós também, em certo sentido, percebemos o mundo com um único olho no meio da testa. Mas nosso olho ciclópico não se situa na testa, mas, sim a alguma*

*distância por trás dela, nas áreas cerebrais destinadas à percepção visual. (1971, p. xi)*

Os estereogramas usados por Julesz para a demonstração da percepção ciclópica são realmente fora do comum (p.ex., Kemp, 1998). Através de um programa de computador, Julesz imprimiu duas imagens praticamente idênticas de figuras formadas por pontos aleatórios (geralmente citadas como **estereogramas de pontos aleatórios**). Um par de tais figuras é mostrado na Fig. 9.25a. As duas possuem texturas idênticas de pontos aleatórios, exceto em uma área central, também idêntica em ambas as figuras, porém deslocada lateralmente, em direções diferentes, em cada uma delas. Olhando-se para qualquer uma das metades do par de figuras de pontos aleatórios é impossível ver quaisquer características de profundidade ou de forma, porque não há sinais monoculares presentes. Contudo, quando as duas figuras se fundem estereoscopicamente vê-se de modo claro um pequeno quadrado central,



**Figura 9.26** Diagrama esquemático indicando o processo pelo qual foi gerado o estereograma de pontos aleatórios da Figura 9.25. As imagens da esquerda e da direita são texturas idênticas de pontos aleatórios, com exceção de algumas áreas, deslocadas horizontalmente em direções opostas com relação uma à outra, como se fossem placas sólidas. As áreas deslocadas, indicadas pelas células A e B, cobrem certas áreas do fundo, indicadas pelas células 1 e 0; por causa do deslocamento, há áreas que ficam descobertas (células X e Y), sendo preenchidas por outros elementos aleatórios. (Fonte: De B. Julesz, *Foundations of cyclopean perception*, Chicago: University of Chicago Press, 1971, p. 21. Reimpresso com permissão do autor e do editor.)

correspondente à área lateralmente deslocada, fluando em seu próprio plano de profundidade, acima da textura circundante. Isso é representado na Figura 9.25b.

Conforme a apresentação esquemática na Figura 9.26, as regiões deslocadas são diferentes no quadrado esquerdo e no quadrado direito do estereograma de pontos aleatórios. No quadrado esquerdo, o deslocamento se dá no sentido da direita, e no quadrado direito, no sentido da esquerda. Esse deslocamento lateral da área quadrada central cria as visões diferentes que seriam projetadas no olho esquerdo e no direito se o pequeno quadrado central estivesse realmente em um plano separado à frente do fundo de textura aleatória. Como resultado, produz-se a disparidade binocular para essa pequena região central (isto é, ele é visto pelo olho esquerdo e pelo direito de maneiras ligeiramente diferentes). Por isso, quando a figura inteira é vista estereoscopicamente a região central é percebida como se estivesse situada em um plano acima da textura de fundo formada de pontos aleatórios. Invertendo-se a relação de disparidade entre o quadrado esquerdo e o direito, a pequena região deslocada parece estar em uma superfície situada atrás da textura aleatória.

Segundo Julesz (1964, 1971), a estereopsia resulta automaticamente desses estereogramas de pontos aleatórios pelo sistema visual através de um processo gerado neuralmente. Esse processo envolve a combinação de áreas nos pares de figuras de pontos aleatórios que sejam comuns a ambos os olhos e a avaliação das áreas restantes de disparidades binoculares para produzir o efeito de profundidade. Sozinha, a disparidade binocular basta para se conseguir a impressão de profundidade, ou estereopsia, porque, como afirmamos antes, nada há na figura de pontos aleatórios, como sinais monoculares pictóricos de profundidade ou formas familiares, que sugira estar uma região deslocada com relação à outra.

### **Estereopsia Local Versus Estereopsia Global**

Os estereogramas de pontos aleatórios apresentam um problema singular de ambigüidade. Quando se vêem estereogramas simples, como os ilustrados nas Figuras 9.24b e 9.24c, não há ambigüidade sobre qual segmento de linha corresponde a outro na projeção retiniana direita e na esquerda. Tais estereogramas fornecem estímulos amplos, monocularmente reconhecíveis em cada uma das figuras projetadas no olho direito e no esquerdo, que possam ser combinadas pelo sistema visual, ponto por ponto, a fim de criar o efeito estereoscópico. Essa localização em profundidade e sem ambigüidade chama-se **estereopsia local**. Por outro lado, os estereogramas de pontos aleatórios não apresentam estruturas reconhecíveis; nas duas metades texturizadas de um estereograma de pontos aleatórios não há nada que informe ao sistema visual de que haveria qualquer grupo de elementos comuns formando pares para produzir estereopsia. Assim, os estereogramas de pontos aleatórios são *ambíguos* com relação aos elementos, na projeção retiniana direita e na esquerda, que correspondam uns aos outros. Seria perfeitamente possível associar qualquer elemento projetado em um olho a qualquer outro elemento vizinho projetado no outro olho. Em vez disso, o sistema visual combina nos dois olhos as figuras díspares. Aqui se precisa de um processo *global* para procurar as muitas disparidades necessárias à percepção de uma superfície tridimensional. Já que deve haver uma combinação geral ou global de elementos desiguais comuns às metades do estereograma de pontos aleatórios, e não ponto por ponto ou combinação local, o processo que se supõe produzir a percepção estereoscópica é chamado de **estereopsia global**.

**Auto-estereogramas** Por causa das limitações técnicas, a estereopsia global não pode ser demonstrada aqui com os estereogramas de pontos aleatórios (a menos que o leitor se dê

ao trabalho de fundir os pares da Figura 9.25a, vendo-os através de um estereoscópio). Contudo, com algum esforço é possível, usando apenas a visão, experimentar a estereopsia global olhando-se um **auto-estereograma**. O auto-estereograma é uma forma especial de estereograma desenvolvido por Christopher Tyler (Pugliese, 1991; Tyler & Clarke, 1990; veja também Stork & Rocca, 1989) que contém indicações completas para os dois olhos em uma única imagem impressa e, como um estereograma de pontos aleatórios, não revela sinais monoculares reconhecíveis. A Figura 9.27 apresenta um auto-estereograma típico. As instruções para conseguir a estereopsia são apresentadas na demonstração que se segue.

## **DEMONSTRAÇÃO**

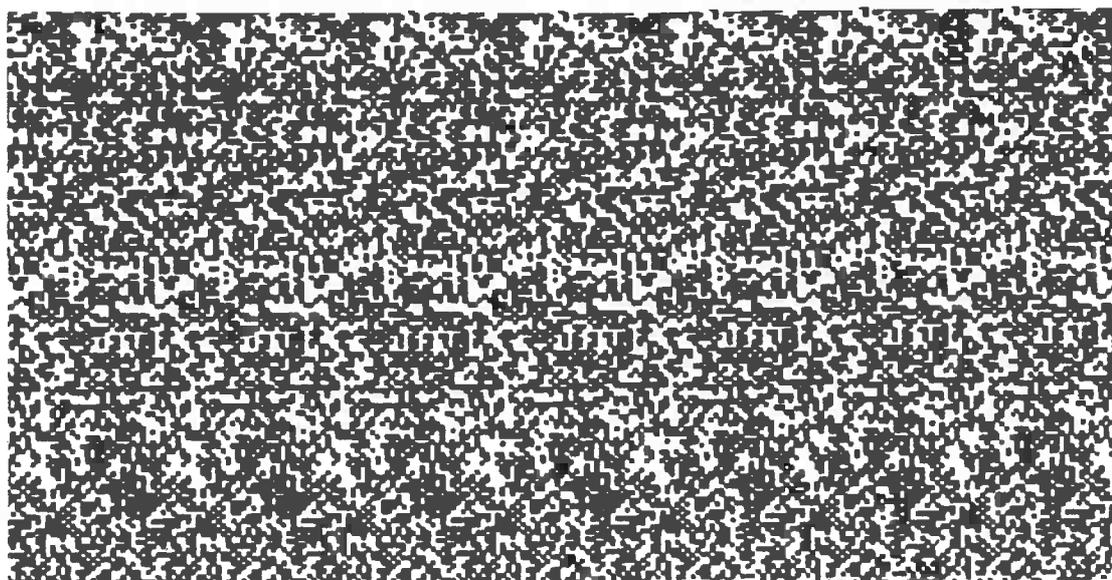
### **Vendo um Estereograma**

Quando a Figura 9.27a é olhada da maneira certa, vê-se uma imagem de um objeto familiar sobre um plano adiante da textura do fundo. Quem olha tem de cruzar os olhos e focalizar os dois pontos de fixação localizados no alto da figura, de modo a aparecerem três pontos. Isso significa que os olhos devem convergir para um ponto antes do plano da figura. Seguem-se diversas técnicas para fazer isso. Seria útil pedir que alguém lesse as instruções devagar enquanto você tenta obter a imagem estereoscópica.

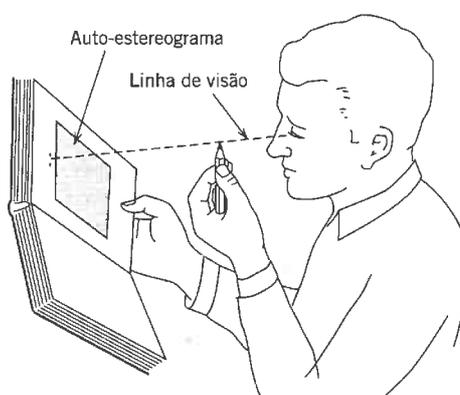
Conforme ilustrado na Figura 9.27b, segure um lápis a cerca de 15 cm na frente da figura, com a ponta na direção do meio do espaço entre os dois pontos. Quando fitar a ponta do lápis você deverá também ser capaz de ver os dois pontos no alto da figura. Focalizando a ponta do lápis, mova-o bem devagar para a frente e para trás até conseguir ver três pontos, em vez de dois, na mesma linha. (Agora você está cruzando os olhos na medida certa.) Mantenha esse foco por alguns momentos, até que as imagens da ponta do lápis e do ponto "central", fusão dos dois, apareçam com nitidez; então, devagar, passe a olhar para o ponto do centro e retire o lápis. Se seus olhos tenderem a voltar para o plano da página, continue tentando até que a configuração de três pontos se torne estável, mantendo-se assim. Para alguns observadores, a imagem de um objeto em profundidade estereoscópica pode saltar imediatamente, enquanto outros podem ter que continuar olhando por diversos minutos.

Se isso não funcionar depois de várias tentativas, tente esses métodos alternativos. Mais uma vez, segure o lápis diante da figura com a ponta na direção do meio do espaço entre os dois pontos de fixação. Dessa vez, porém, concentre os olhos no plano da figura, e não no lápis. Como você está focalizando a figura, deverá ver imagens duplas cruzadas do lápis. Mova-o devagar até que as duas imagens fiquem mais ou menos alinhadas com os dois pontos de fixação no alto da figura. Então, focalize devagar a ponta do lápis. As duas imagens indistintas do lápis deverão convergir, formando uma imagem única apontando para um ponto central. Continue a focalizar a ponta do lápis até esse ponto se tornar nítido. Isso pode levar algum tempo, mas quando acontecer você verá uma figura central surgir em profundidade da base.

Um terceiro método, mas que apresentará o objeto oculto em um plano de profundidade abaixo da superfície texturizada (porque os olhos irão convergir para um ponto *abaixo* do plano da figura), é o seguinte: enquanto estiver olhando para o alto da figura, procure focalizar o olhar em um local além dos pontos, como o chão ou uma parede, até ver três pontos em vez de dois. Mantenha o olhar firme nos três pontos por alguns momentos e, sem mudar o foco, mova os olhos lentamente para baixo até ver a figura em profundidade. *Sugestão* (embora isso não vá acelerar o processo): a



(a)



(b)

**Figura 9.27** Auto-estereograma (a) e ilustração sobre o modo de vê-lo (b). (Auto-estereograma cortesia de Christopher Tyler.)

figura vista em profundidade também está representada na Figura 7.16, do Capítulo 7.

Finalmente, se tudo isso continua falhando, tente o seguinte: coloque a página do auto-estereograma bem perto do rosto, de modo a ficar totalmente indistinta. Nesse ponto, seu foco estará atrás da superfície da página. Então, de *maneira extremamente lenta*, vá afastando a figura do rosto, procurando não deixar que a superfície do auto-estereograma entre em foco. Se ela chegar a entrar em foco, foi porque você afastou demais a página (ou porque a moveu muito depressa). Lembre-se: é importante *não* focalizar a superfície do auto-estereograma. Tente outra vez, agora movendo ainda mais lentamente, parando de vez em quando, até que a figura tridimensional que está oculta se revele.

O auto-estereograma apresenta uma tarefa pouco familiar e difícil para o sistema visual porque é preciso focalizar os olhos em uma distância diferente da localização do plano da figura. Mas, a menos que a pessoa tenha somente um olho ou seja cega para estereograma (veja a próxima seção), com treino (e paciência) conseguirá ver a imagem estéreo.

O efeito de profundidade é difícil para a maioria das pessoas quando elas o experimentam pela primeira vez. Para algumas ele pode levar vários minutos de esforço oculomotor, mas com paciência e treino será conseguido pela maioria. O interessante é que, sem percebê-lo, conforme Pugliese (1991) destaca, a pessoa pode ter provocado o mesmo efeito estereoscópico ao olhar para um chão de ladrilhos ou um papel de parede, com motivos repetidos, tendo a sensação desconcertante de ver os ladrilhos saírem flutuando do chão ou os desenhos flutuando adiante da parede, em um plano imaginário, diante de si. O que ocorreu foi que as imagens do desenho repetitivo no olho esquerdo e no direito se combinaram de maneira errada no sistema visual. Realmente, o sistema visual ligou e fundiu estereoscopicamente duas imagens não originadas de partes correspondentes dos desenhos, sendo percebida uma profundidade incorreta (Michison & McKee, 1987).

Um dos achados mais significativos das pesquisas sobre a percepção ciclópica com um estereograma de pontos aleatórios é que a estereopsia pode ocorrer sem quaisquer sinais monoculares de profundidade e nem mesmo contornos ou formas reconhecíveis ou familiares. Quando os estereogramas de pontos aleatórios são

vistos monocularmente parecem uma exposição de texturas completamente acidental, sem qualquer sugestão de configurações nem de formas reconhecíveis. Assim, a estereopsia pode não apenas anteceder a percepção de formas, mas pode ocorrer sem o reconhecimento de formas. Em outras palavras, a percepção de contornos e formas não é um pré-requisito para a estereopsia. Como afirmaram Gullick e Lawson (1976), a percepção ciclópica indica que “em vez de contornos que fazem surgir a profundidade, é mais a profundidade que faz surgir os contornos” (p. 272).

A estereopsia com estereogramas de pontos aleatórios não se limita ao ser humano adulto. Surge nele por volta do período entre 3 e meio e 6 meses (Fox *et al.*, 1980; Petrig *et al.*, 1981). Além disso, essa forma de estereopsia ocorre em outras espécies. Os falcos (Fox, Lehmkuhl & Bush, 1977), os gatos (Fox & Blake, 1970) e os macacos (Bough, 1979) parecem capazes de perceber a profundidade com estereogramas de pontos aleatórios.

A estimulação ciclópica ocorre em um conjunto único de condições laboratoriais em que a forma monocular e a binocular de informação estão tecnicamente separadas. A maioria dos eventos espaciais é vista sem tal restrição. Normalmente, a percepção do espaço ocorre em um ambiente que contenha um amálgama de sinais e em que a percepção efetiva do espaço dependa de sua integração. Porém, a capacidade específica da estereopsia confere mesmo uma vantagem especial à percepção espacial do ambiente. Não apenas capacita a pessoa que vê a tirar informações exatas sobre a profundidade e a distância dos objetos e superfícies — e, portanto, necessária a atividades visuais de nível mais elevado —, mas também contribui para a percepção *unitária* das características existentes em profundidade semelhante. Em outras palavras, o processo perceptual de agrupamento e integração de características espaciais existentes em profundidade ou distância semelhantes do observador promove o reconhecimento do objeto. Sobre esse ponto, Frisby (1980) conjectura que

*talvez a vantagem evolutiva inicial de se possuir dois olhos tenha sido a de ter uma solução para o problema de decodificação da camuflagem. Talvez a visão com os dois olhos realmente tenha chegado à sua real importância quando forneceu um meio de agrupar os tipos de listas pertencentes ao tigre (ou a outro predador, ou a uma presa apetecível, porém escondida) e distingui-las dos tipos de listas apresentadas por ramos, galhos e folhas da árvore onde ele estava escondido, pronto para arremer. Essa conjectura certamente está em conformidade com a descoberta dos estereogramas de pontos aleatórios porque eles mostram exatamente o quanto é excelente uma estereopsia que quebra um sistema de camuflagem; é somente depois da fusão binocular que um objeto, seja ele qual for, pode ser visto... talvez com o tipo especial de percepção de profundidade que a estereopsia representa em seu arsenal, o sistema visual é muitíssimo melhor para decompor uma cena em suas partes constituintes, com isso continuando a tarefa de ver o que está presente. (p. 155)*

### Base Fisiológica da Disparidade Binocular

A base fisiológica da disparidade binocular é apoiada por indícios de haver células seletivas de disparidade binocular em diversas espécies de mamíferos, inclusive o ser humano. Ou seja, há células que apresentam pouca resposta à estimulação monocular mas que, em vez disso, respondem a uma série de estimulações de disparidade binocular. Essas células — mencionadas como *detectoras de disparidade* — são ativadas quando os agrupamentos vizinhos de estímulos de disparidades semelhantes chegam a cada retina (p.ex., Barinaga, 1998; Dobbins *et al.*, 1998; Heydt *et al.*, 1978;

Hubel & Wiesel, 1970; Ohzawa *et al.*, 1990; Poggio, 1995; Poggio & Poggio, 1984; Sakata *et al.*, 1996; Trotter *et al.*, 1995). Isso significa que a estimulação binocular estimula seletivamente diversos agrupamentos de detectores de disparidade binocular, sintonizados em disparidades diversas. Algumas células reagem a estímulos com pouca ou nenhuma disparidade binocular, com os quais estão estreitamente sintonizadas, sendo basicamente excitadas apenas por estímulos situados na distância de fixação ou próximo dela (isto é, estímulos que incidem na PFA do *horóptero* e que estimulam pontos retinianos correspondentes; veja Figura 9.21). Outras células respondem seletivamente somente a estímulos situados antes do ponto de fixação ou além dela.

Por exemplo, Poggio e Fischer (1977) condicionaram um macaco para olhar fixamente para um ponto situado a determinada distância. Depois lhe apresentaram alvos posicionados antes do ponto de fixação ou por trás dele. Enquanto o macaco mantinha a fixação no ponto, os experimentadores gravavam a atividade de diversas células em separado no seu córtex. Descobriram algumas células que disparavam somente em reação a alvos situados antes do ponto de fixação (ficando inibidas por alvos localizados por trás dele). Parece, assim, que o córtex visual primário dos primatas apresenta células binocularmente dirigidas, especificamente responsivas a alvos cuja distância esteja relacionada ao ponto de fixação.

Concluimos, pois, que há pelo menos três classes de células processadoras de profundidade binocular: as células especificamente sintonizadas ao plano de fixação e à PFA; as células excitadas por estímulos situados antes do ponto de fixação e inibidas por estímulos situados atrás dele; e as células excitadas por estímulos situados atrás do ponto de fixação e inibidas por estímulos situados antes dele (veja também Poggio, 1995).

Alguns achados psicofísicos no ser humano apóiam a existência de células detectoras de disparidade com uma relação específica de distância ao ponto de fixação (Richards, 1970, 1971; Richards & Regan, 1973; veja também Blake & Cormack, 1979; Cormack *et al.*, 1993). As pessoas portadoras de cegueira para estereogramas são incapazes de localizar a profundidade de um objeto através de indicações estereoscópicas ou de disparidade binocular apenas (embora consigam perceber a profundidade empregando outros sinais). Algumas pessoas são parcialmente cegas para estereogramas: não conseguem usar indicações estereoscópicas para localizar um objeto que esteja na frente ou atrás do plano de fixação. Essas observações são coerentes com a existência de três grupos de detectores de disparidade: um para objetos situados no plano de fixação (disparidade zero) e dentro do PFA; outro grupo para objetos situados além do plano de fixação; e um terceiro para objetos situados antes dele. Assim, em vista dos achados psicológicos aqui descritos, a pessoa cega para estereogramas (ou parcialmente cega) pode carecer do complemento normal de qualquer um dos grupos de detectores de disparidade, ou de todos eles.

### COMO AS INDICAÇÕES INTERAGEM COM O ESPAÇO

Têm surgido diversas perguntas sobre o uso e a origem de certos sinais monoculares e binoculares para profundidade e distância, normalmente bem representados na estimulação ambiental. Quais são os mais importantes? Qual é a eficácia da percepção monocular de profundidade? Adquire-se gradualmente a percepção do espaço através das experiências do ambiente ou ela é inata — façanha perceptual que é resultado direto da estimulação da retina, não exigindo processamento por parte do observador? Examinaremos essas questões nas últimas seções deste capítulo, mas elas

também figuram nos dois capítulos que se seguem. Primeiro, explicaremos duas abordagens, apresentadas no Capítulo 1, referentes à natureza e à fonte das informações visuais disponíveis para a percepção de profundidade e distância.

## Abordagem Construtivista de Indicações Espaciais

De acordo com a **abordagem construtivista**, o observador exerce um papel ativo para combinar, avaliar e interpretar as informações espaciais proporcionadas pelos diversos sinais espaciais. Ou seja, ele precisa processar essas informações a fim de “construir” a percepção. Conclui-se que a experiência do observador e o conhecimento do ambiente espacial auxiliam no processo. Veja o sinal de *sobreposição*, apresentado no início deste capítulo. Se um objeto cobre outro, parcial ou totalmente, quase imediatamente percebemos que o objeto parcialmente encoberto está mais distante que aquele que o cobre. Mas, como é que sabemos isso? Especialmente, como é que reconhecemos que a sobreposição parcial é uma fonte de informações sobre a localização relativa de objetos? De acordo com a abordagem construtivista, a associação entre sobreposição de objetos e percepção de distância é adquirida pela experiência com objetos que cobrem uns aos outros.

De modo semelhante, o que há na convergência de trilhos rodoviários para criar a percepção de distância aparente (isto é, de perspectiva linear)? Mais uma vez, os intercâmbios ambientais trazem a resposta. Poderíamos alegar algo semelhante para muitos dos outros sinais discutidos antes, mas a idéia geral da abordagem construtivista é o seguinte: as experiências com os diversos sinais de profundidade e distância nos capacitam a tirar inferências sobre a disposição espacial do ambiente. “Construímos” o ambiente visual pela interpretação que fazemos das muitas relações espaciais entre os elementos que aparecem no espaço visual (p.ex., Hochberg, 1988; Rock, 1986, 1995).

## A Abordagem Direta de Gibson

Poucos psicólogos nas últimas décadas desenvolveram uma abordagem tão importante da percepção do espaço como James J. Gibson (1950, 1966, 1979). Talvez o que haja de mais singular e controverso na abordagem de Gibson seja a sua idéia da **percepção direta**, a qual sustenta que, na maioria dos contextos naturais, as pessoas captam informações suficientes sobre a disposição espacial do ambiente *de forma direta*, e não como resultado de processo e análise de vários sinais de profundidade e distância. Gibson começa com a opinião de que as informações sobre profundidade e distância estão inteiramente contidas dentro da disposição óptica projetada nos olhos, a qual, por si mesma, fornece informações confiáveis sobre o mundo visual. De acordo com essa opinião, pois, a disposição óptica dá informações suficientes para explicar totalmente a percepção do mundo visual; não é necessário haver nenhuma interpretação, nenhum processamento mental nem avaliação dos sinais espaciais (Nakayama, 1994). As informações contidas dentro da disposição óptica são *colhidas diretamente*, e não processadas.

Gibson também enfatiza o papel exercido pelas alterações sistêmicas na disposição óptica, resultantes de intercâmbios dinâmicos à medida que o observador se movimenta pelo ambiente natural. Apesar de um observador em movimento, de um ambiente mutável e de uma alteração na imagem retiniana, certas fontes de informações dinâmicas permanecem constantes. Gibson denomina tais informações de **invariantes**. Como exemplo, veja o *fluxo óptico de figuras* (descrito no Capítulo 8) e as *perspectivas de*

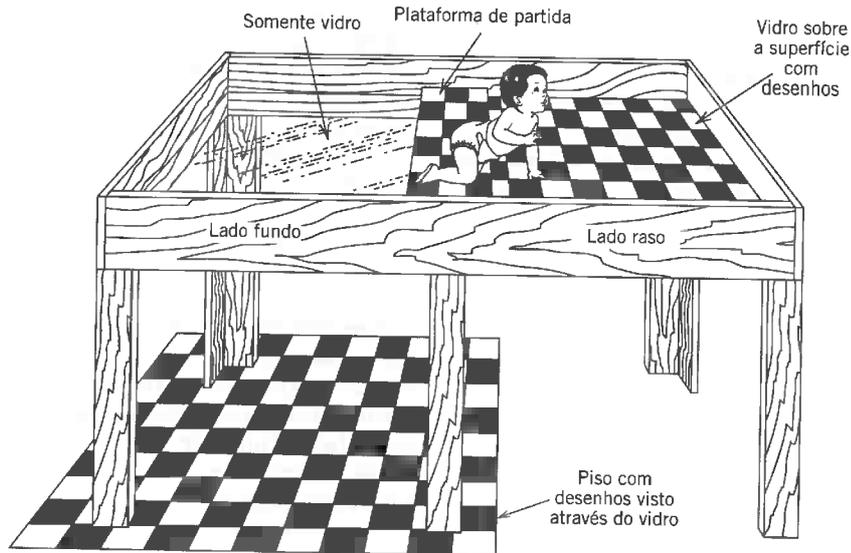
*movimento* (descritas antes, neste capítulo). À medida que o observador se movimenta, os contornos atravessam a retina — com elementos de todos os lados passando sucessivamente para fora dos limites do campo visual à medida que novos elementos vão entrando —, mas o *padrão* do fluxo óptico não se altera. O fluxo da disposição óptica permanece constante à medida que o observador se movimenta. Os gradientes de textura também oferecem informações invariantes. Os elementos de textura sempre parecem mais finos ou mais densos à medida que a distância aumenta, parecendo mais grossos ou mais densos à medida que ela diminui. Um caso semelhante diz respeito às informações para a *paralaxe de movimento*. As diferenças aparentes de velocidade projetadas de diferentes regiões do campo visual e resultantes do movimento do observador revelam informações da distância relativa.

A maioria dos cientistas visuais descobre muitas coisas com as quais concordam e discordam na abordagem de Gibson. É evidente que as variáveis por ele destacadas, como os gradientes de textura e o padrão de fluxo óptico passando pelo observador em movimento, fornecem mesmo fontes possantes de informações invariantes sobre profundidade e distância. Contudo, sua noção de que na maioria dos casos a percepção do espaço é registrada na disposição óptica, sem nenhum processamento inferencial ou cognitivo e pouca influência de experiências anteriores, pode ser por demais excludente e restritiva para muitos cientistas visuais (p.ex., veja Bruce & Green, 1990; Hochberg, 1981; Ullman, 1980). Como já observamos, a maioria dos pesquisadores acredita que a percepção seja um produto de diversos sinais monoculares e binoculares de profundidade, bem como de informações invariantes. Assim parece razoável supor que, pelo menos em parte, não vemos o mundo diretamente; em vez disso, servimo-nos de muitas fontes de sinais espaciais para construí-lo.

No entanto, o impacto da abordagem de Gibson é imenso. Tem contribuído para nosso conhecimento das ricas e importantes fontes de informações dinâmicas à disposição do observador nas cenas do mundo real, ou seja, as informações invariantes na disposição óptica.

## O Penhasco Visual

Quando nos deparamos com profundidade e distância no ambiente natural, geralmente há diversas fontes disponíveis de informações, que quase sempre dão informações espaciais coerentes. Podemos supor, com razão, que quanto mais sinais disponíveis houver mais informações espaciais são transmitidas ao observador e mais exata a percepção de profundidade e distância. Contudo, seria um sinal mais importante do que outro? É possível perceber efetivamente a profundidade com a visão monocular? Eleanor Gibson e Richard Walk (1960; Walk & Gibson, 1961) deram um passo importante ao responderem a essas e a outras perguntas básicas referentes à percepção de profundidade de muitas espécies animais fazendo uso de um equipamento por eles criado, chamado **penhasco visual**. Uma versão do penhasco visual está ilustrada na Figura 9.28, que mostra a plataforma de partida localizada no centro, dividindo o piso do aparelho em dois lados, trazendo, cada um deles, tipos diferentes de estimulação. O lado “raso” fica diretamente sobre uma superfície com desenhos; no lado “profundo”, a mesma superfície com desenhos se situa a alguma distância abaixo. Na verdade, há uma lâmina de vidro cobrindo tanto o lado fundo como o raso, para dar segurança e igualar as fontes de informação de reflexões térmicas, olfativas e sonoras para ambos os lados. Portanto, com a iluminação igualada em ambos os lados, somente se pode ter informações visuais intencionais. Em situações normais, coloca-se um animal na plataforma de partida que separa a parte rasa da parte funda. Dessa posição, o animal vê o



**Figura 9.28** Desenho de um modelo do penhasco visual. (Fonte: Baseado em R. D. Walk, The study of visual depth and distance perception in animals, in D. S. Lehrman, R. A. Hinde e E. Shaw (Eds.). *Advances in the study of behavior*, New York: Academic Press, 1965, p. 103. Reimpresso com permissão do autor e do editor.)

lado raso, ou “seguro”, e o lado fundo, “perigoso” — uma margem que tem além de si um abismo semelhante ao que ele veria se realmente estivesse olhando por cima da margem de um penhasco e encarando uma queda brusca.

Já que a percepção da profundidade é uma capacidade adaptativa, funcionalmente aperfeiçoada através de uma seleção natural para a preservação das espécies, é razoável esperar que a maioria dos animais a possua ou a adquira com facilidade. Além disso, essa capacidade deveria ser funcional na época em que o animal se movimenta por conta própria — quando precisa dela. Conseqüentemente, uma suposição básica ao se testar animais no penhasco visual é que, como eles tenderão a evitar a queda, irão descer sempre para o lado *raso* do penhasco visual. Esse é o resultado quase unânime ao se testar a percepção de profundidade no equipamento do penhasco. Com base nas pesquisas feitas com um grande número de animais, inclusive anfíbios, aves, muitas espécies de mamíferos pequenos e alguns grandes, primatas e bebês humanos, tem-se observado sempre uma forte tendência a evitar o lado fundo.

Além disso, pela variação sistemática das fontes de informação sobre o lado fundo e o lado raso, Gibson e Walk conseguiram isolar as características de profundidade que influem na percepção de profundidade pelos animais. Quando todos os sinais possíveis eram mudados de modo diferente para ambos os lados, e inclusive igualados (tamanho relativo, gradientes de textura, etc.), os animais ainda desciam para o lado raso. Sem levar em conta as restrições visuais, desde que conseguissem movimentar-se de um lado para outro ou mover a cabeça, os animais evitavam o lado fundo. A única indicação que não pôde ser igualada para o lado raso e o fundo, parecendo dominar o comportamento efetivo de descida, foi a *paralaxe de movimento*. Ou seja, a velocidade relativa em que os elementos se moviam sobre a retina, à medida que o animal sondava os dois lados do penhasco visual, apresentava as informações necessárias para perceber profundidades diferentes e evitar o lado fundo.

Isso significa que a visão binocular não é necessária para a percepção efetiva de profundidade? Aparentemente sim, pelo menos para situações de profundidade definidas por uma margem junto a um abismo. Em comparação com o comportamento dos animais binoculares, o comportamento de animais monoculares

testados no penhasco visual indica, de modo convincente, que um olho é mais do que suficiente. Evitar o lado fundo é, pois, um resultado tão efetivo com a visão monocular quanto com a binocular. Um aparte interessante é que a utilidade da visão monocular na percepção da profundidade é amplamente demonstrada por pessoas que, com apenas um olho, têm-se revelado habilidosas na orientação dentro de contextos espaciais muito complicados, como esporte profissional e até mesmo aviação. Dois exemplos esclarecem bem esse ponto. Morris K. Udall, falecido deputado do Arizona, perdeu o olho direito aos cinco anos, mas aprendeu a compensar a perda da visão binocular a tal ponto que se tornou capitão e atacante no time de basquete da Universidade do Arizona, nos meados da década de 1940, e jogou profissionalmente por curto tempo com os Denver Nuggets (tudo isso tendo o olho direito de vidro; veja Severo, 1998).

Talvez o exemplo mais celebrado e impressionante de visão monocular efetiva seja a de Wiley Post, uns dos pioneiros da aviação, que em 1933 fez o primeiro vôo solo ao redor do mundo. Post não apenas tinha um só olho, mas fez seu vôo em um tempo em que os pilotos voavam “por pura intuição”. Isso significa que sua principal fonte de informações espaciais consistia naquilo que viam e sentiam; havia muito poucas informações de vôo propiciadas pelos instrumentos da cabine. Se tivermos um pouco de experiência, pois, podemos nos sair muito bem com um olho apenas. No entanto, por causa da perda de acuidade visual propiciada pela disparidade binocular (bem como pela perda óbvia de metade do campo visual), devemos concluir também que nos orientamos muito melhor no espaço com dois olhos.

## RESUMO

Neste capítulo, identificamos e descobrimos os indicadores de estímulos e processos visuais que nos ajudam a perceber o espaço tridimensional. Essas características de estímulos foram descritas em termos de sinais monoculares e binoculares, dependendo de a função conjunta dos olhos ser necessária ou não. Os sinais monoculares estáticos incluem sobreposição, perspectiva aérea, sombreamento e iluminação, altura, perspectiva linear, gradientes

de textura, tamanho relativo e tamanho familiar. Eles nos capacitam a perceber a profundidade em uma superfície plana — percepção pictórica. Também foram descritos três sinais monoculares dinâmicos e não-pictóricos da profundidade: paralaxe de movimento, perspectiva de movimento e acomodação.

Os sinais binoculares, que exigem a integração de informações de ambos os olhos, foram discutidos em seguida. Esses sinais são convergência e disparidade binocular. Com relação à discussão dos sinais binoculares, examinamos os pontos retinianos correspondentes, o horóptero e a área de fusão de Panum (PFA), descrevendo como contribuem para a estereopsia — percepção da profundidade com solidez.

Isso foi seguido de uma discussão sobre a rivalidade binocular, em que as imagens retinianas do olho esquerdo e do direito são muito diferentes, e levou a um exame de uma forma pouco comum de estereopsia chamada percepção ciclópica, que emprega estereogramas de pontos aleatórios. Nesse contexto, também lidamos com a estereopsia local e a estereopsia global, apresentando um exemplo de um auto-estereograma. Enfatizamos uma contribuição importante da percepção ciclópica e dos estereogramas de pontos aleatórios: a estereopsia não apenas precede a percepção da forma, mas também pode ocorrer na ausência dela. A percepção da forma não é necessária à estereopsia.

Foram explicadas a base fisiológica da disparidade binocular e a noção de que algumas células servem como detectores de disparidade. Os indícios relativos à existência de classes diferentes desse tipo de detectores parecem coerentes com o fenômeno da cegueira para estereogramas.

Na seção final deste capítulo discutimos a interação de indicações espaciais, focalizando duas abordagens da percepção do espaço: a abordagem construtivista e a abordagem direta de J. J. Gibson. A abordagem construtivista argumenta que a percepção da profundidade tem base na experiência e no conhecimento do ambiente espacial, bem como no processamento e na avaliação de sinais espaciais. Por outro lado, a abordagem direta afirma que na maioria dos contextos naturais há informações suficientes sobre a profundidade e a distância dos objetos e superfícies contidas na disposição óptica. Além disso, essas informações são captadas diretamente pelo observador, sem processamento, sem avaliação e sem depender da experiência. De acordo com esse ponto de vista, as informações provenientes de sinais como densidade de textura e paralaxe de movimento revelam diretamente as informações de profundidade e distância, sem qualquer mediação nem avaliação.

Para terminar, foram discutidos o equipamento do penhasco visual e alguns resultados de pesquisas feitas com ele. Concluiu-se que o sinal dinâmico monocular da paralaxe de movimento fornece informações suficientes para influir na percepção de profundidade.

## TERMOS-CHAVE

**Abordagem Construtivista**

**Acomodação**

**Altura**

**Anáglifo**

**Área de Fusão de Panum (PFA)**

**Auto-estereograma**

**Cegueira para Estereograma**

**Convergência**

**Disparidade Binocular (Paralaxe Binocular)**

**Estereograma de Pontos Aleatórios**

**Estereogramas**

**Estereopsia**

**Estereopsia Local e Estereopsia Global**

**Estereoscópio**

**Gradientes de Textura**

**Horóptero**

**Invariantes**

**Paralaxe de Movimento**

**Penhasco Visual**

**Percepção Ciclópica**

**Percepção Direta**

**Percepção Pictórica**

**Perspectiva Aérea (Nitidez)**

**Perspectiva de Movimento**

**Perspectiva Linear**

**Pontos Retinianos Correspondentes**

**Pontos Retinianos Não-Correspondentes**

**Rivalidade Binocular**

**Sinais Binoculares**

**Sinais Monoculares**

**Sinais Pictóricos**

**Sobreposição**

**Sombreamento e Iluminação**

**Tamanho Familiar**

**Tamanho Relativo**

## QUESTÕES PARA ESTUDO

1. Identifique os sinais monoculares que contribuem para a percepção de um ambiente tridimensional. Mostre os sinais pictóricos monoculares estáticos e faça uma distinção entre eles e os sinais monoculares que exigem movimento.
2. Explique por que a dispersão das ondas curtas luminosas, envolvidas na perspectiva, faz com que o céu pareça azul (consulte, no Capítulo 6, a seção A Natureza da Cor).
3. Mostre a distinção entre os sinais de tamanho relativo e tamanho familiar. Em que condições de visão o tamanho familiar seria especialmente útil?
4. Que é percepção pictórica? Que sinais contribuem para ela?
5. Faça a distinção entre paralaxe de movimento e perspectiva de movimento. Delineie o processo da paralaxe de movimento e descreva sua importância como sinal monocular de profundidade e distância. Quais são as características em comum entre a paralaxe de movimento, a perspectiva de movimento e a acomodação?
6. Identifique os sinais binoculares de profundidade e distância. Que informações, além das que são transmitidas pelos sinais monoculares, eles trazem à percepção espacial?
7. Descreva a disparidade binocular levando em conta o horóptero e a PFA. De que maneira a disparidade binocular fornece informações sobre a distância relativa dos objetos entre si?
8. O que são pontos retinianos correspondentes e não correspondentes? Descreva como os pontos retinianos não correspondentes capacitam tanto a fusão binocular (dentro da PFA) como as imagens duplas.
9. Que é estereopsia? Analise esse processo, indicando como a visão de estereogramas por um estereoscópio pode estimulá-la.
10. Que é percepção ciclópica? Como é demonstrada e em que é diferente da visão estéreo típica? Mostre a distinção entre estereopsia local e estereopsia global.
11. O que a percepção ciclópica indica sobre a necessidade de sinais monoculares estáticos, convergência e familiaridade de objetos para se conseguir a estereopsia? Até que ponto a percepção monocular de contornos é um pré-requisito para a estereopsia?

12. Examine a estereopsia segundo as informações que ela dá ao observador. Indique como as espécies com necessidades espaciais específicas tiram proveito dela.
13. Até que ponto a necessidade da visão binocular para a percepção espacial é eficiente? Quais as tarefas espaciais por ela possibilitadas? Examine as possibilidades de execução de tarefas espaciais baseadas somente nas informações monoculares.
14. Mostre a distinção entre a abordagem construtivista e a abordagem direta de Gibson da percepção do espaço. Quais são as invariantes na abordagem direta? Que papel é destinado pela teoria às experiências anteriores e ao processamento cognitivo de sinais para a percepção do espaço?
15. Descreva as capacidades perceptuais que podem ser demonstradas e avaliadas no penhasco visual. Identifique os sinais essenciais para a percepção da profundidade no penhasco visual.