

PERCEPÇÃO HUMANA NA VISUALIZAÇÃO DE GRANDES VOLUMES DE DADOS

Leandro Filipe Oliveira Gomes^{1*}, João Manuel R. S. Tavares^{2*}

1-Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, email: mm09042@fe.up.pt

2-Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto / Lab. de Óptica e Mecânica Experimental, Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Porto, Portugal, email: tavares@fe.up.pt

Palavras chave: cognição, visão humana, informação, interfaces homem-máquina, ergonomia.

Resumo

Nos dias de hoje, são cada vez mais comuns conjuntos de dados de elevada dimensão e complexidade, para os quais os métodos tradicionais de visualização e análise de dados se tornam ineficazes. Vivendo-se num mundo em que o tempo tem um papel cada vez mais crítico no processo de tomada de decisão, podendo influenciar significativamente o sucesso de uma qualquer acção, urge encontrar soluções que satisfaçam eficientemente a necessidade de processamento e análise de informação.

Ao analisar a história da Visualização, tem-se uma noção de quão distante é a sua origem, coincidindo praticamente com a origem da humanidade, e quão diversas são as áreas que contribuíram (e contribuem) para seu desenvolvimento. Observando mais em detalhe o processo evolutivo da visualização, começa-se a compreender melhor o que acontece nos dias de hoje. De facto, é fácil perceber que algumas das abordagens actuais são baseadas em metodologias e técnicas de visualização previamente desenvolvidas, mas que foram agora adaptadas às inovações tecnológicas mais recentes. Porém, não se está diante de um ciclo fechado da história; está-se sim novamente no início de uma nova era em termos de visualização. Com efeito, novas abordagens e metodologias começam a ser alvo de novos trabalhos científicos, também impulsionadas pelos recentes avanços tecnológicos. Tais avanços tecnológicos são novamente propulsores desta nova fase, mas a grande preocupação está agora voltada para os factores humanos aplicados a novas metodologias científicas de visualização. Destes factores, merecem destaque a visão, a percepção e a cognição, mas têm surgido também pesquisas ao nível do tacto e da audição.

Através do sistema visual, a percepção humana desempenha um papel importante na área da visualização, auxiliando os processos cognitivos. Assim, considerar factores da percepção visual humana no desenvolvimento de ferramentas computacionais de visualização de dados complexos e elevada dimensão, assume um papel fundamental com grande interesse científico e até para a comunidade em geral.

Em muitos momentos na evolução da Visualização, o design, a percepção e a cognição foram também factores relevantes, mesmo quando aplicados empiricamente. Neste momento, a formalização de estudos que se foquem nestas áreas são bem-vindas e necessárias, uma vez que existem inúmeras possibilidades de investigação que envolvem a intersecção destas áreas que se complementam.

Em suma, este artigo é motivado pelo actual interesse na visualização de informação e nas linhas de investigação que vêm explorando a representação de dados através de princípios da percepção; princípios estes que facilitam o processo cognitivo de análise das informações envolvidas. Assim, são revistas teorias e metodologias para visualização de grandes volumes de dados baseadas em princípios de percepção humana.

1. Contextualização

Nos dias de hoje, são cada vez mais comuns conjuntos de dados de elevada dimensão e complexidade, para os quais os métodos tradicionais de visualização e análise de dados se tornam insuficientes e ineficazes [1]. Vivendo-se num mundo em que o tempo desempenha um papel cada vez mais crítico no processo de tomada de decisão, podendo influenciar significativamente o sucesso de uma qualquer acção, urge encontrar soluções que satisfaçam esta necessidade de processamento e análise de informação.

Através do sistema visual, a percepção humana desempenha um papel importante na área da visualização, auxiliando os processos cognitivos. Assim, considerar factores da percepção visual humana no desenvolvimento de ferramentas computacionais de visualização de dados complexos e elevada dimensão, assume um papel fundamental com grande interesse científico e até para o público em geral.

De uma forma generalista, o termo visualização significa construir uma imagem visual na mente humana, e isto é mais do que uma representação gráfica de dados ou conceitos. Já Stuart Card, em [2], define o conceito de visualização de forma mais específica como sendo o uso de representações visuais de dados abstractos, suportadas por computador e interactivas para ampliar a cognição. Destas definições pode-se reter que uma visualização pode funcionar como uma ferramenta cognitiva para a construção de conhecimento utilizando as capacidades perceptivas e cognitivas do ser humano. Em termos da percepção, as representações de dados devem considerar as propriedades do sistema visual humano [3]. Assim, bons conhecimentos teóricos cientificamente testados são fundamentais para ferramentas computacionais de visualização e análise de dados eficientes [4].

Desta maneira põe-se a questão: “Quais são as principais teorias da percepção humana passíveis de serem consideradas na visualização de dados e que influenciam a sua compreensão?”. Neste trabalho são revistas várias soluções que têm sido propostas para esta problemática.

2. Processos sensoriais e perceptivos

O estudo dos processos sensoriais nasceu de perguntas sobre a origem do conhecimento humano. Uma das respostas mais acessíveis é simples e directa: os sentidos recebem e registam a informação de forma semelhante a uma câmara fotográfica quando capta luz ou a um microfone quando recebe som. Nesta perspectiva, os olhos e os ouvidos são sensíveis à informação relevante tal como a película fotográfica é sensível à luz. Segunda esta perspectiva, a recolha de informação é uma questão relativamente passiva. A câmara, afinal, não escolhe que raios de luz recebe, nem interpreta em grande medida a luz que recebe; apenas regista a luz disponível. Da mesma forma, um gravador não interpreta a fala ou aprecia a música; limita-se, de novo de forma passiva, a registar o som. Assim, o problema fundamental da percepção consiste em saber como se consegue apreender os objectos e os acontecimentos do mundo exterior. No domínio da percepção visual, as principais questões dizem respeito ao modo como se vê a profundidade, o movimento e a forma como se constatará mais adiante.

2.1. Posição Empirista

Muitos filósofos defenderam que os sentidos são passivos e esta posição está associada com a corrente filosófica conhecida por empirismo e que defende que todo o conhecimento é adquirido pela experiência. John Locke (1964), um dos principais proponentes desta posição, defendia que não havia ideias inatas: à nascença o espírito humano era simplesmente uma folha em branco (tábua rasa), sobre a qual a experiência inscreve as suas marcas [5].

Esta visão de “tábua rasa” permitiu que os neurologistas passassem a compreender que o cérebro possui um grande número de regiões especializadas. A Figura 1 mostra as principais vias (*pathways*) neurais entre as diferentes partes do cérebro envolvidas no processamento visual [6]. Embora grande parte das funcionalidades ainda não sejam claras, este diagrama representa uma conquista significativa e resume o trabalho de dezenas de pesquisadores, estando estas estruturas presentes tanto em primatas, como em seres humanos. Assim, o cérebro não é claramente considerado como uma massa indiferenciada; pelo contrário, como uma colecção de máquinas altamente especializadas em processamento paralelo com interconexões de alta largura de banda. Todo o sistema é projectado para extrair informações do mundo em que vivemos, não de um outro ambiente com propriedades físicas completamente diferentes.

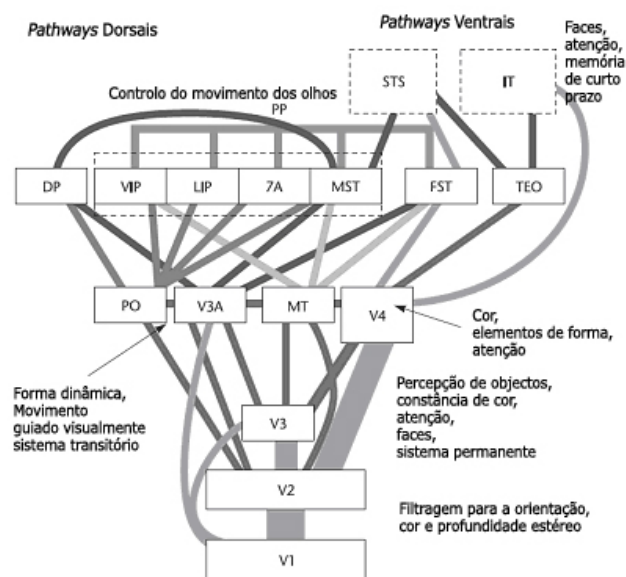


Figura 1: Os principais *pathways* visuais do *Macaque monkey*: V1 – V4, áreas visuais 1 – 4; PO, *parieto-occipital area*; MT, *middle temporal area* ou V5; DP, *dorsal prestiate area*; PP, *posterior parietal complex*; STS, *superiotemporal sulcus complex*; IT, *inferotemporal cortex*. (Este diagrama ilustra a complexidade estrutural do sistema visual, representando a espessura das linhas o número de projecções ascendentes entre as áreas (adaptado de [3]).)

A noção que o conhecimento surge da experiência implica que tudo o que se sabe deriva do que se vê, ouve e sente durante a vida. Isto contudo não explica que tipo de informação os sentidos recebem. Ao se considerar uma árvore, por exemplo, constata-se que a luz reflectida pela sua superfície entra pela pupila, é concentrada pela lente e projecta uma imagem na retina, a região fotossensível na parte anterior do olho. Assim, os estímulos aplicados nesta sequência visual podem ser descritos por uma de

duas formas: 1) pode-se falar da própria árvore, isto é, o acontecimento ou objecto no mundo exterior; ou 2) pode-se falar do padrão de energias de estímulo que atingem efectivamente o olho. Ao primeiro chama-se de estímulo distal, uma vez que o estímulo distal encontra-se geralmente a alguma distância do sujeito, sendo o segundo denominado de estímulo proximal (“próximo”) [7].

À pessoa “comum”, o interesse reside no estímulo distal, ou seja, o objecto verdadeiro no mundo exterior. Assim, quer-se conhecer a árvore e não a sua imagem retiniana; assim, interessa saber o verdadeiro tamanho da árvore, a que distância está, que tipo de folhas tem, e assim por diante. Contudo, o Homem não tem acesso directo ao estímulo distal. Em vez disso, a única fonte de informação acerca do estímulo distal são as energias que atingem o olho, isto é, o estímulo proximal [8]. Com efeito, se a árvore não projectasse nenhuma imagem retiniana, ela seria invisível [7].

Porém, esta distinção entre estímulos proximais e distais levanta problemas ao empirista. Na sua perspectiva, os sentidos são o único acesso que existe para o mundo exterior, e os estímulos proximais os únicos mensageiros a que é permitido esse acesso [8]. Como se pode então conhecer as qualidades reais do estímulo distal?

Para além disto, os empiristas presumiam que todo o conhecimento é construído a partir de experiências sensoriais simples: sensações. São esses os elementos sobre os quais se constroem todas as experiências e ideias complexas [9]. Toda a experiência perceptiva é desta forma composta de sensações como: um mosaico de cores, sons de diferente altura e volume, doces, amargos, e assim por diante. Será que esta descrição dá conta da riqueza do mundo perceptivo?

Para os empiristas, a resposta a todos estes problemas era a aprendizagem. Logo, pretendiam que a experiência anterior desempenhava um papel crucial criando o significado e a organização do mundo perceptivo. O mecanismo-chave da aprendizagem era considerado a associação, processo pelo qual uma sensação é ligada a outra: se duas sensações ocorrerem com frequência suficiente, uma delas acabará por evocar a ideia da outra [7]. Segundo os empiristas, estas ligações associativas seriam a base que ligariam os componentes separados do mundo perceptivo num todo coerente.

2.2. Réplica inatista

Os empiristas aceitavam que o sujeito tem de complementar as sensações com associações; contudo, outros autores sugeriram que o papel do sujeito é bastante mais importante [7, 10].

A principal alternativa à posição empirista é o inatismo que afirma que vários aspectos da experiência perceptiva dependem da capacidade de categorizar e interpretar a informação sensorial proveniente dos sentidos [7]. Esta capacidade de compreender o dado sensorial é, segundo os inatistas, aquilo que torna a percepção possível. Em consequência, esta capacidade deve estar estabelecida antes de qualquer experiência sensorial. Essas capacidades deveriam, pois, fazer parte do património natural (ou inato) [9].

As origens das posições inatistas remontam a Platão. Em épocas mais modernas, a posição foi defendida pelo filósofo alemão Immanuel Kant. Kant, em [11], defendia

que o conhecimento não pode provir apenas do que vem dos sentidos; tem de haver categorias prévias que vão ordenar e organizar este material sensorial. Para além disto, defendia que as categorias de espaço, tempo e causalidade se encontram na própria estrutura do espírito, e que essas categorias ordenam toda a experiência de modo que não se pode conceber o mundo senão nos termos dessas mesmas categorias que tornam os dados sensoriais interpretáveis. Modernamente, pode-se dizer que essas categorias e a forma como ordenam os dados dos sentidos fazem parte da herança biológica humana [7].

2.3. Intensidade sensorial

Quer se siga a posição empirista ou inatista, tem-se que a experiência sensorial ou sensação tem sempre início com um estímulo próximo [10]. Este estímulo é convertido para impulsos nervosos por receptores especializados, e depois geralmente modificado ainda mais por outras partes do sistema nervoso, dando finalmente origem à sensação. Para tentar compreender a ligação entre as características do estímulo físico com quer a qualidade quer a intensidade da experiência sensorial, surgiu um novo ramo da Psicologia sensorial denominado Psicofísica [12].

O fundador da Psicofísica, Gustav Fechner, estudou a intensidade sensorial determinando a capacidade dos sujeitos em discriminar intensidades de estímulo. Assim, nasceu o conceito de limiar diferencial, ou seja, a mudança de intensidade (de um dado estímulo) que é suficientemente forte para que seja detectada, produzindo uma diferença apenas perceptível (DAP) [7].

Uns anos antes o fisiólogo alemão Ernst Heinrich Weber tinha desenvolvido a lei de Weber, que afirmava que uma DAP é uma fracção constante da intensidade do estímulo padrão [7]. Tomando isto como referência, Fechner generalizou a lei de Weber de maneira a exprimir uma relação mais global entre as intensidades sensorial e física. É esse o objectivo da lei de Fechner, que afirma que a intensidade da sensação cresce logaritmicamente com a intensidade do estímulo [12].

2.4. Detecção do sinal

A teoria da detecção do sinal é uma forma de separar a intensidade sensorial e o viés de resposta [7]. Numa experiência de detecção típica, o estímulo é apresentado em alguns ensaios mas não em outros. Assim, pode haver dois tipos de erro: insucessos, ou seja, dizer que um estímulo está ausente quando ele está presente, e falsos alarmes, isto é, dizer que ele está presente quando está ausente (Tabela 1). A proporção relativa destes dois tipos de erros é parcialmente determinada pela matriz de ganhos e perdas, onde os ganhos e perdas se referem aos resultados de cada tipo de resposta.

Tabela 1: Resultados possíveis na experiência de detecção

Resposta	Estímulo presente	Estímulo ausente
Positiva	Sucesso	Falso alarme
Negativa	Insucesso	Negativa correcta

Segundo a teoria de detecção do sinal, a distinção entre a presença de um estímulo e a sua ausência depende de um processo em que o sujeito tem de decidir se a activação do

sistema sensorial é provocada pelo sinal mais o ruído de fundo ou só pelo ruído de fundo (Figura 2).

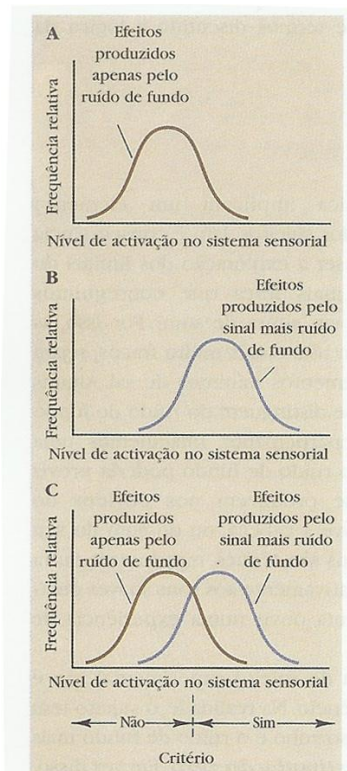


Figura 2: Processo de decisão segundo a teoria de detecção do sinal (retirado de [7]).

Noutro âmbito, as investigações do substrato neural da sensação tentam esclarecer os códigos sensoriais pelos quais o sistema nervoso representa as experiências sensoriais. Têm particular interesse nas diferenças qualitativas entre modalidades sensoriais diferentes (por exemplo, a nota lá e a cor vermelho) e na mesma modalidade sensorial (verde e vermelho). Segundo a doutrina da energia específica dos nervos proposta por Johannes Müller, as diferenças qualitativas são, em última análise, causadas por diferenças nas estruturas nervosas excitadas pelo estímulo e não por diferenças entre os próprios estímulos [10].

Já os processos neurais subjacentes à experiência sensorial são descritos por duas posições alternativas [7]: 1) a teoria da especificidade, segundo a qual as diferentes qualidades sensoriais são assinaladas por diferentes neurónios; e a 2) teoria do padrão, que defende que essas diferenças são codificadas pelo padrão geral de actividade de um conjunto de fibras sensoriais. Porém, alguns estudos mostram que o sistema nervoso utiliza como código quer a especificidade, quer os padrões nos vários sistemas sensoriais, como por exemplo é defendido em [7].

Como se percebe pelo anteriormente descrito, diferentes modalidades sensoriais têm funções e mecanismos diferentes. Contudo, a visualização explora sobretudo o sentido humano que possui maior capacidade para captar informação temporal: a visão. Assim, em seguida este tópico é descrito em maior detalhe.

3. Percepção Visual

A percepção do meio envolvente não depende somente das propriedades dos seus objectos, mas também das

características do sistema visual humano [7]. Assim, seguidamente são descritas as propriedades anatómicas e funcionais do sentido da visão, tendo em conta a sua importância no processo perceptivo em geral.

3.1. Luz como estímulo

No ambiente humano existem muitos objectos que são fontes de luz: o Sol, lâmpadas, velas, entre outros. Estes tipos de objectos emitem eles próprios luz; porém, a grande maioria dos objectos são fontes de luz por reflectirem parte da luz que é projectada sobre eles, absorvendo a restante.

As energias do estímulo denominadas por luz deslocam-se numa onda semelhante às ondas de pressão que constituem os estímulos auditivos. Como todas as ondas, a luz pode variar na sua intensidade e no seu comprimento de onda [13]. A intensidade é a quantidade de energia radiante por unidade de tempo, sendo responsável em grande parte pelo brilho percebido. Já o comprimento de onda é distância entre as cristas de duas ondas sucessivas, sendo o principal determinante da sensação de cor. Contudo, os comprimentos de onda chamados de luz são apenas aqueles aos quais o sistema visual humano é sensível, constituindo apenas uma pequena parte do espectro electromagnético [3, 7]. O espectro visível vai de aproximadamente 360/400 (violeta) a 700/750 (vermelho) nanómetros entre cristas sucessivas (Figura 3).

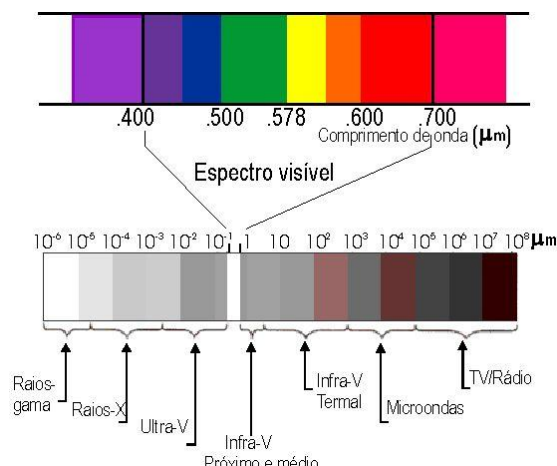


Figura 3: Espectro visível (adaptado de [7]).

3.2. Olho

Existem diferentes tipos de olhos. De facto, o olho foi evoluindo de forma autónoma em muitos grupos de animais. Enquanto alguns invertebrados têm apenas zonas sensíveis ao escuro e ao claro, outros possuem estruturas complexas com vários tipos de células que recolhem imagens através de lentes e de aberturas minúsculas. Nos vertebrados, a detecção da luz é feita por células chamadas foto-receptores localizados na retina [7], sendo esta uma camada de tecido que reveste a parte de trás do globo ocular. Porém, antes de a luz entrar na retina existe necessidade de vários mecanismos que controlem a quantidade de luz que chega aos foto-receptores e, antes do mais, que assegurem uma imagem retiniana clara e bem focada [13].

Frequentemente, o olho humano é comparado por analogia a uma câmara fotográfica. De facto, ambos têm uma lente, sendo o cristalino no olho, que refracta os raios luminosos que passam por ela, projectando assim uma imagem numa superfície fotossensível na parte posterior. No olho, esta refração é feita quer pelo cristalino, quer pela córnea que é a película transparente externa do olho [14].

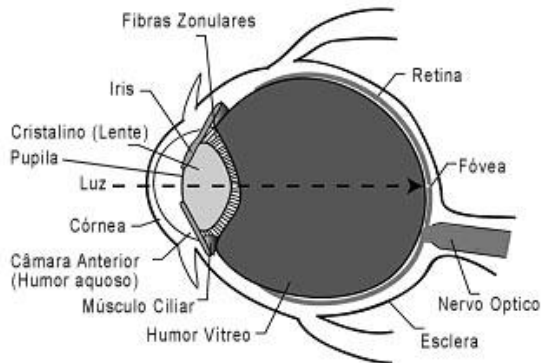


Figura 4: Secção lateral do olho (adaptado de [15]).

Na câmara, a imagem é focada modificando a posição da lente, já no olho isto é realizado por um conjunto de músculos que alteram a forma do cristalino. Estes músculos contraem-se de forma a curvar mais o cristalino, quando se foca uma imagem próxima, e distendem-se de forma a achatá-lo mais quando se foca uma imagem à distância. Este processo denomina-se por acomodação [7]. Finalmente, tanto a câmara como o olho são capazes de determinar a quantidade de luz que entra. Na câmara, isso é assegurado pela abertura do diafragma; já no olho, para este efeito existe a íris, um músculo liso e circular que rodeia a abertura pupilar, que se contrai e dilata em resposta reflexa à quantidade de iluminação.

3.3. Receptores Visuais

Quando a luz chega à retina, o estímulo físico é transformado num estímulo neural [7]. Com efeito, existem na retina dois tipos de células receptoras, os bastonetes e os cones [13]. Os cones são muito abundantes na fovea, que é uma pequena zona circular no centro da retina, mas decrescem de densidade para a periferia. Por sua vez e em sentido contrário, os bastonetes estão ausente na fovea, mas estão em grande quantidade na periferia. Numa retina humana existem, em média, 120 milhões de bastonetes e 6 milhões de cones [7, 13].

Os cones e os bastonetes não comunicam directamente com o cérebro; as suas mensagens são transportadas por várias camadas de outras células na retina [7]. Assim, os receptores estimulam as células bipolares que, por sua vez, excitam as células ganglionares. Estas recebem informação de toda a retina e os axónios (parte do neurónio condutora dos impulsos nervosos) dessas células convergem para formar um feixe de fibras nervosas a que se chama de nervo óptico [14]. Por sua vez, o nervo óptico deixa o globo ocular e transporta informação, em primeiro lugar, para uma grande estação de trânsito denominada núcleo geniculado lateral e depois para o córtex. No local por onde o nervo óptico deixa o globo

ocular não há lugar para receptores e, por isso, esta área (*zona cega*) não pode dar origem a sensações visuais.

O facto de cones e bastonetes serem diferentes na estrutura, número e localização na retina, sugere que desempenham funções diferentes. Há quase cem anos esta hipótese levou ao desenvolvimento da teoria bimodal da visão, que entretanto se veio a tornar como um facto adquirido [7]. Assim, os bastonetes são os receptores da visão nocturna, uma vez que disparam a baixas intensidades de luz e dão origem a sensações visuais acromáticas (preto e branco). Já os cones estão na base da visão diurna, pois respondem a níveis de luminosidade mais elevados e estão na base de sensações a cores ou cromáticas. A vantagem desta disposição bimodal torna-se clara ao considerarmos a grande variedade de intensidades visuais com que o Homem se depara, activo quer de dia quer de noite. Na espécie humana, a relação entre a energia do estímulo necessário para atingir o limiar da visão e uma olhadela rápida ao Sol é da ordem de $1/10000000000$ [7]. Assim, a selecção natural conseguiu resolver os problemas causados por um âmbito tão grande através de dois sistemas receptores visuais que se complementam.

A enorme sensibilidade dos bastonetes possui porém um preço: são muito menos eficazes a discriminar detalhes finos. A acuidade, que se entende como a capacidade de perceber detalhes, é assim muito maior nos cones [13]. É em grande parte por esta razão que se movem os olhos, quando se quer inspeccionar um objecto. “Olhar” para um estímulo significa mover os olhos para que a imagem retiniana desse objecto caia sobre a fovea dos dois olhos, uma vez que é na fovea que a acuidade é máxima devido à concentração de cones.

Contudo, a importância dos bastonetes pode-se constatar no dia-a-dia e em tarefas rotineiras. Por exemplo, quando se pretende vislumbrar uma estrela pouco brilhante no céu, não se deve olhar directamente para ela, mas sim para um ponto à sua esquerda ou direita. Esta estratégia sacrifica a capacidade de distinguir detalhes mas, trabalhando com os bastonetes e sendo estes mais sensíveis que os cones [13], é maximizada a sensibilidade à luz fraca da estrela.

Esta teoria bimodal da visão recebe ainda o apoio dos estudos sobre sensibilidade espectral. Como já referido, o olho humano é insensível a comprimentos de onda inferiores a cerca de 360 e superiores a 700 nanómetros. Para saber qual a sensibilidade às frequências entre estes extremos, é realizada uma experiência de detecção de uma luz ténue de intensidade e comprimento de onda específicos [7]. Os resultados deste género de experiência são descritos em termos de uma curva de sensibilidade espectral em que a sensibilidade é assinalada como ordenada e o comprimento de onda como abcissa.

Como se pode constatar da Figura 5, a sensibilidade máxima dos bastonetes ocorre na região dos comprimentos de onda curtos, com um máximo de 510 nanómetros (o que corresponderia ao verde se aplicado aos cones, mas que parece cinzento aos acromáticos bastonetes). Já a curva para os cones é mais baixa no conjunto, o que reflecte a sua menor sensibilidade luminosa. Além disso, a região de máxima sensibilidade dos cones ocorre por volta dos 560 nanómetros (vistos como verde amarelado). Para os bastonetes os azuis são mais fáceis de detectar do que os amarelos e vermelhos

(embora, como já referido, todos pareçam cinzentos); para os cones, passa-se exactamente o contrário.

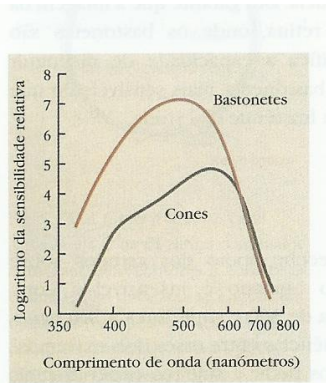


Figura 5: Curva de sensibilidade espectral (retirado de [7]).

Os cones e os bastonetes, para além de se poderem distinguir em termos de função e anatomia, também possuem diferentes características químicas. Assim, dentro de cada foto-receptor, encontra-se um pigmento visual [13]; ou seja, uma substância química sensível à luz e que permite a transdução da energia luminosa para um sinal neural. Quando a luz entra no receptor, a sua energia modifica a forma química do pigmento visual, dando início a uma cadeia de acontecimentos que, por fim, leva a um sinal eléctrico. Desta forma, a energia luminosa é traduzida para a linguagem do sistema nervoso. O próprio pigmento é depois reconstituído por outros mecanismos, de modo a que esteja pronto a reagir na próxima oportunidade. O pigmento dos bastonetes é a rodopsina [7]. Já os cones possuem três pigmentos diferentes, sendo ainda desconhecida a sua composição química exacta. Contudo, o facto de terem três pigmentos ao invés de somente um, está relacionado com a sua capacidade de discriminar cores.

3.4. Adaptação (interacções no tempo)

Os vários componentes do sistema visual não operam isoladamente; pelo contrário, interagem constantemente [13]. Esta interacção pode ocorrer no tempo, como nas várias formas de adaptação que garantem um declínio gradual na reacção a qualquer estímulo se este não for alterado. A adaptação visual é geralmente compensada pelos movimentos oculares, mas estes efeitos podem ser controlados através do procedimento da imagem estabilizada [16]. Com efeito, uma vez que é impossível fazer com que o olho não se mova, faz-se com que o estímulo se mova juntamente com este. Neste género de experiência, o sujeito usa uma lente de contacto na qual está montado um pequeno projector. Na parte posterior do projector está o estímulo-alvo que é projectado na retina. Este alvo será sempre projectado no mesmo ponto da retina porque, se o olho se move, a lente e o projector movem-se com ele. Em consequência, a imagem na retina permanece estabilizada [8].

Inicialmente, a imagem assim projectada é vista de forma muito nítida. Mas, depois de alguns segundos, desaparece de todo, geralmente por partes. Isto constitui uma demonstração clara do sistema de adaptação a estímulos contínuos. Em suma, conclui-se que os movimentos

involuntários dos olhos parecem ter a função de manter o mundo visual intacto. São esses movimentos oculares que, em condições normais, fazem com que a imagem retiniana não se encontre estabilizada, havendo sempre mudanças nessa imagem [17].

3.5. Contraste (interacções no espaço)

Os fenómenos de adaptação mostram que os sistemas sensoriais não reagem exactamente à estimulação, mas sim às mudanças dessa estimulação. Se não houver qualquer mudança, a resposta sensorial diminui [7]. Tal verifica-se para fenómenos que decorram no tempo, mas também o é para os que ocorrem no espaço. Na visão (e nos outros sentidos) a resposta a um estímulo apresentado a uma determinada região depende, em parte, de como são estimuladas as áreas adjacentes. Quanto maior for a diferença na estimulação das partes adjacentes, maior será o efeito [18]. De facto, o aspecto de uma mancha cinzenta, por exemplo, depende do fundo em que é apresentada. O mesmo cinzento parecerá muito mais brilhante num fundo escuro do que num claro (Figura 6). Este efeito, denominado também por contraste do brilho, aumenta com o incremento na diferença de intensidade entre as duas regiões contrastantes [7]. Todavia, o contraste também é função da distância entre estas regiões: quanto mais pequena a distância, maior o contraste (Figura 7). Este fenómeno dá origem a várias ilusões visuais e tem sido usado por vários artistas contemporâneos de forma a criar efeitos interessantes.

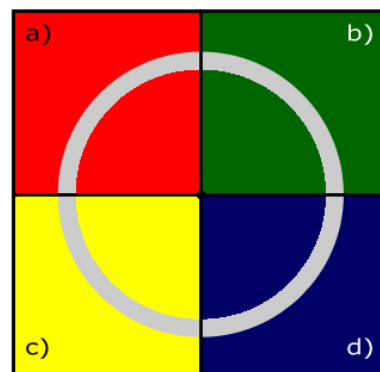


Figura 6: Contraste simultâneo de cor (ou indução de cor); pode-se verificar que embora o anel seja uniformemente cinza a percepção da sua cor é influenciada pelos fundos que o rodeiam: a) parece mais verde quando rodeado por vermelho; b) parece mais vermelho, quando rodeado por verde; c) parece mais azul, quando rodeado por amarelo; d) e parece mais amarelo, quando rodeado por azul (adaptado de [19]).

Os efeitos de contraste têm outra consequência: servem para acentuar os bordos entre os objectos diferentes no espaço visual, o que permite uma melhor visão destes [13]. Este tipo de processo auxilia a visão a ultrapassar algumas imperfeições ópticas do olho. Por causa destas imperfeições a imagem retiniana é muitas vezes imprecisa, ainda que o estímulo exterior seja claramente delimitado, sendo o contraste a corrigir esta imprecisão. O sistema visual recria, exagerando, as fronteiras entre os objectos da mesma forma que gera as chamadas linhas de Mach (Figura 8). Assim, quando uma região mais clara está adjacente a uma mais escura, o contraste faz com que a região clara fique ainda mais clara e a escura ainda mais escura. O contraste acentua as diferenças entre as duas

zonas nos dois sentidos, exagerando desta forma os bordos entre as duas [7].

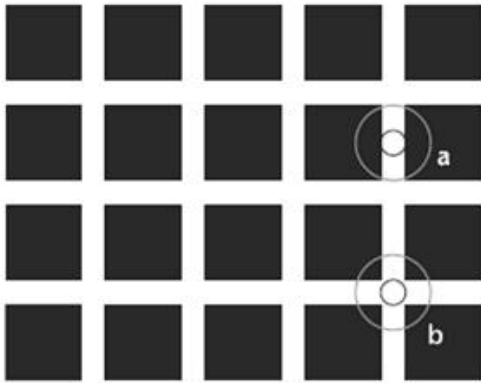


Figura 7: Grelha de Hermann: É possível verificar a existência de imagens fantasma cinzentas nas intersecções. Este facto resulta das características dos campos receptivos das células ganglionares (retirado de [3]).

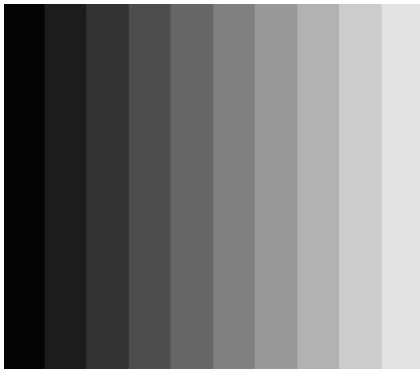


Figura 8: Exemplo de linhas de Mach.

Em vários níveis do sistema visual a actividade numa região tende a inibir as respostas nas regiões adjacentes. A esta tendência chama-se inibição lateral [9] – trata-se de inibição das zonas adjacentes a um ponto. Este efeito, desde há muito teorizado, foi actualmente confirmado através de registos da actividade de células isoladas no sistema visual [7]. Tais registos documentam claramente o facto de que regiões adjacentes na retina tendem a inibir-se mutuamente, passando-se o mesmo em regiões mais centrais do sistema visual. Assim, quando algum receptor visual é estimulado, transmite a sua excitação a outras células que acabam por a transmitir para o cérebro. Contudo, a excitação dos receptores tem ainda outro efeito: estimula neurónios que se estendem lateralmente na retina. Essas células laterais entram em contacto com células vizinhas e inibem-nas [20].

3.6. Cor

As sensações visuais têm um carácter qualitativo importante: a cor. As sensações cromáticas podem ser ordenadas por referência a três dimensões: tonalidade (matiz da cor), brilho (luminosidade da cor) e saturação (intensidade ou “pureza” da cor). As cores, como referido em [21], podem ser misturadas subtractivamente (como quando se misturam pigmentos) ou aditivamente (como quando se estimula a mesma zona da retina com duas cores diferentes). Os resultados dos estudos sobre a mistura aditiva mostraram que cada tonalidade tem uma

tonalidade complementar que, quando misturada com a primeira, dá origem à sensação de cinzento. Dois exemplos são o vermelho-verde e o azul-amarelo. Trata-se de antagonistas cromáticos [7], o que pode ser demonstrado pelos fenómenos de imagem consecutiva negativa e contraste de cor simultâneo.

O facto de se conseguir reproduzir qualquer cor misturando três outras cores está de acordo com a teoria de Young-Helmholtz sobre a visão cromática [10]. Segundo esta teoria, as qualidades de cor são determinadas pela frequência de disparo relativo de três tipos de cones, cada um com uma curva de sensibilidade própria [22]. O resultado da actividade desses três tipos de cones é recodificado em outros sistemas neurais, sendo esta recodificação descrita pela teoria do processo oponente de Hurvich e Jameson [23]. Esta teoria parte do princípio de que há três sistemas diferentes cada um correspondente a um par de experiências sensoriais antagónicas: vermelho-verde, azul-amarelo e preto-branco. Os dois primeiros determinam a tonalidade e o terceiro o brilho percebido. Existem dados sobre registos de células isoladas em macacos rhesus e alguns fenómenos de cegueira às cores que parecem corroborar a teoria do processo oponente [7].

4. Organização perceptiva

4.1. Profundidade

O mundo visual é percebido em três dimensões, embora só duas delas sejam dadas pela imagem que se forma no olho [7]. Tal facto despertou o interesse pelos indícios de profundidade. Um importante indício de profundidade advém do facto do Homem ser uma criatura binocular, ou seja, possui dois olhos. Assim, os olhos vêem o mundo a partir de posições um pouco diferentes, obtendo cada olho uma visão ligeiramente diferente do mundo. Esta diferença fornece informação importante sobre relações de profundidade no mundo, sendo designada por disparidade binocular [24].

A disparidade binocular é um forte determinante, provavelmente inato, da percepção da profundidade. Apesar disso, pode-se perceber profundidade mesmo mantendo um olho fechado. Isto prova claramente que existem indícios para a percepção da profundidade que têm origem na imagem obtida só com um dos olhos. Estes são os indícios monoculares de profundidade, também designados por indícios pictóricos [7], uma vez que têm vindo a ser explorados por artistas desde há muito, para criar uma sensação de profundidade a partir de uma superfície plana. Entre eles encontram-se:

- Interposição – quando um objecto está sobreposto a outro, cobrindo-o parcialmente, o primeiro será percebido como mais próximo e o último como mais distante;
- Perspectiva linear – regula a impressão de distância o grau de convergência entre figuras e o tamanho das mesmas;
- Tamanho relativo – em igualdade de circunstâncias, a maior de duas figuras idênticas parece estar mais próxima do que a pequena;

- Gradientes de textura - uma textura uniforme é projectada na retina de uma forma tal que, quanto maior a distância, maior a densidade da textura na imagem.

Todos estes indícios são determinantes fortes da profundidade percebida. Porém, ainda mais relevantes, são os movimentos da cabeça e do corpo. Estes produzem alguns fenómenos que fornecem informação vital acerca das distâncias entre os objectos e da distância a que estes se encontram. Um desses fenómenos é a paralaxe do movimento que é um padrão global do movimento no interior das imagens retinianas, sendo um indício de profundidade de grande eficácia [10]. Com efeito, a direcção do movimento na retina depende do sítio para onde se olha: os objectos que estão mais próximos do sujeito, do que do alvo para onde este olha, parecem movimentar-se na direcção oposta à sua, enquanto os objectos mais distantes parecem movimentar-se na mesma direcção.

Produz-se um indício de profundidade diferente, quando se aproxima ou se afasta dos objectos. Assim, à medida que se aproxima de um objecto, a sua imagem vai aumentando; mas, quando se afasta, ela torna-se mais pequena. Além disso, quando se dirige para um objecto, modifica-se o padrão de estimulação na totalidade do campo visual, do qual resulta um padrão de fluxo óptico, que fornece uma informação decisiva acerca da profundidade e desempenha um grande papel na coordenação dos movimentos e na manutenção do equilíbrio [25].

4.2. Movimento

O Homem, para além de reconhecer um objecto e saber onde este se encontra, tem necessidade de perceber o que esse objecto está a fazer na cena. Ou seja, precisa tanto da percepção dos acontecimentos como da dos objectos. Para isto, deve ser capaz de perceber o movimento.

Certas células específicas da direcção presentes no córtex visual, células detectoras de movimento, respondem efectivamente ao movimento de uma imagem na retina, mas tal não é suficiente para explicar a percepção do movimento [7]. Isto pode-se comprovar pelo fenómeno de movimento aparente (Figura 9) que apoia o facto de que se consegue perceber movimento, mesmo quando não se verifica movimento da imagem através da retina [26]. Em vez disso, tudo o que se necessita é de uma mudança de posição nos tempos certos: um objecto está num determinado local, neste momento, e depois noutro, no seguinte. Se a sucessão temporal for a correcta, o sistema nervoso interpreta isto como sendo a evidência de que esse objecto se deslocou. Por outro lado, o sistema nervoso compensa as deslocações produzidas pelo movimento do olho. Quando o cérebro dá sinais aos músculos oculares para se movimentarem, calcula o desvio retiniano que esse movimento vai produzir, neutralizando a seguir esse valor ao interpretar a informação visual que recebe. A consequência disso é conseguir ver-se um ponto imóvel, parado no seu lugar, apesar dos movimentos dos olhos [27].

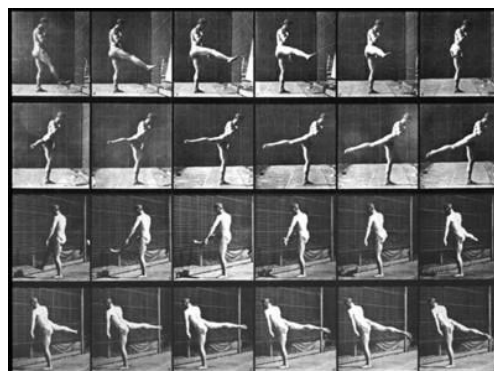


Figura 9: O movimento aparente resulta quando se apresentam dois estímulos estacionários, um seguido do outro, e é percebido movimento entre eles. É este efeito que possibilita a televisão ou os desenhos animados (retirado de [13]).

Como já referido, o Homem não só detecta o movimento como também o interpreta [7]. Tal torna-se evidente com o fenómeno do movimento induzido (Figura 10), pelo qual é assumido que os objectos mais pequenos, contidos, estão em movimento, enquanto os maiores, que os contêm, são considerados como estando em repouso.

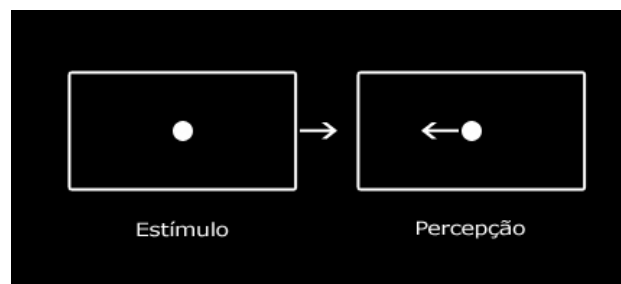


Figura 10: Movimento induzido: o movimento do rectângulo gera a percepção do movimento do ponto (adaptado de [19]).

4.3. Forma

Na visão, o processo fundamental para reconhecer um objecto passa pela sua forma. Um fenómeno importante na percepção da forma é a transposição da forma: uma forma percebida pode permanecer idêntica, mesmo que sejam alteradas todas as suas partes constituintes. Este fenómeno é a base fundamental do Gestaltismo, uma teoria que realça a importância do todo, criado a partir das relações entre as partes constituintes [28].

No que concerne à percepção de formas, os atributos do contorno visual desempenham um papel essencial no seu reconhecimento. Com efeito, vários desses atributos são capturados por detectores de características quer na retina, quer no cérebro. Trata-se de células que respondem a determinados aspectos relacionais do estímulo, como bordos e cantos, o que é mostrado por experiências de registo de actividade de células isoladas [7]. A adaptação desses detectores de características pode explicar alguns fenómenos que ocorrem depois de exposição prolongada a certos tipos de estímulos, como o efeito secundário do movimento visual [7]. Este efeito é facilmente constatável quando se olha em primeiro lugar para uma faixa de linhas que descem continuamente durante algum tempo, e depois para uma linha horizontal estática. De facto, esta linha parecerá mover-se para cima ao olho humano.

Para além disto, muitos investigadores actuais estão convencidos de que a percepção da forma se baseia em etapas de processamento da informação, as quais

transformam a entrada visual inicial num produto final cognitivo, a percepção de objectos no mundo. Este processo começa com a detecção de sinais primitivos, os quais são identificados pelo facto de “saltarem à vista” [29] na tarefa de procura visual (Figura 11). Na primeira etapa do processamento, estes traços existem isolados flutuando livremente, como o demonstram as conjunções ilusórias, onde o sujeito não consegue imaginar a relação entre os traços, embora os percepcione.

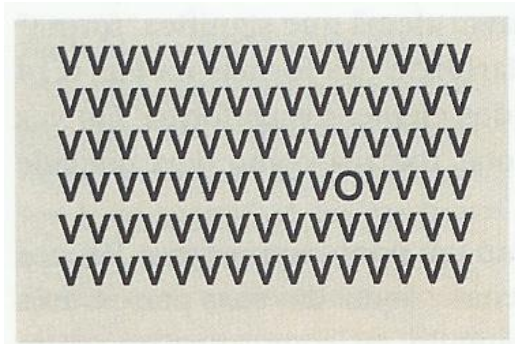


Figura 11: O que salta à vista na percepção visual: A letra O situada no meio de um arranjo de letras V salta logo à vista. Neste caso, o sistema visual não precisa de procurar, uma a uma, todas as figuras para determinar se se trata do exemplar. Em vez disso, realiza uma procura paralela, inspeccionando todos os itens simultaneamente (retirado de [7]).

Porém, antes de poder reconhecer uma forma, o sujeito tem de empreender um processo de segregação visual e de análise perceptiva da cena visual. Com efeito, a integração e segregação de contornos, grupos e regiões não são suficientes para a percepção da forma, uma vez que algumas regiões são percebidas como sendo fundos transparentes [30]. Como os objectos estão fisicamente delimitados por contornos, o sistema visual precisa de extrair do estímulo informação que permita organizar as relações entre os objectos existentes na imagem. Isto requer a segregação da figura e do fundo, a qual não é inerente ao estímulo proximal mas imposta pelo sistema perceptivo, como o mostram as figuras reversíveis (Figura 12), onde existe mais do que uma maneira de analisar um estímulo [7].



Figura 12: Figura reversível: Vaso de Rubin (retirado de [31]).

Estabelecer quais regiões são figura e quais são fundo é um importante processo visual, porque as cenas visuais quotidianas contêm vários objectos que se sobrepõem e que se ocultam frequentemente [32]. Assim, aquilo que se pode chamar de uma ordenação em profundidade deve ser considerado como um factor-chave na organização perceptiva [22]. Uma vez feita a análise perceptiva, que separa a estimulação visual em figura e fundo, aplicam-se a estas duas zonas, tipos diferentes de processamento. Na

figura, há maior sensibilidade ao detalhe fino, enquanto no fundo, a análise perceptiva parece recorrer a uma análise mais grosseira, apropriada à percepção de áreas mais vastas [33].

A segregação posterior produz o agrupamento perceptivo, que se refere ao facto do observador ter a percepção de que alguns elementos no campo visual são agrupados preferencialmente de um determinado modo [34]. Alguns dos factores que determinam o agrupamento visual (Figura 13) foram descritos por Max Wertheimer, fundador do Gestaltismo. Wertheimer considerava esses factores como as leis da organização perceptiva [26]. Um dos factores que identificou foi a proximidade: quanto mais próximas, quer espacialmente, quer temporalmente, estão duas figuras uma da outra, mais têm tendência a ser agrupadas conjuntamente na percepção, mesmo que não possuam grande similaridade entre si. Um outro factor é a semelhança: mantendo-se tudo o mais constante, tende-se a agrupar as figuras de acordo com a sua semelhança. A similaridade dá-se principalmente em termos de cor, forma e textura, não se sobrepondo normalmente à proximidade.

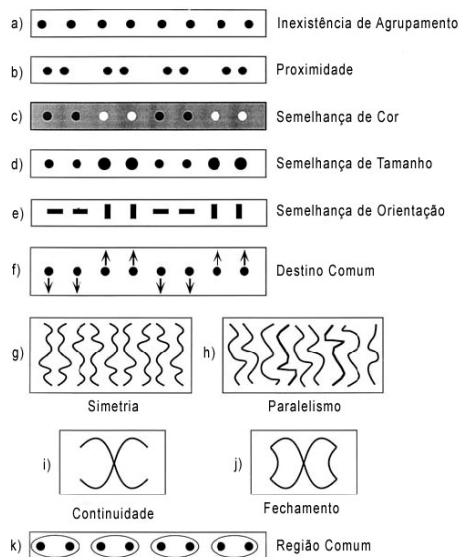


Figura 13: Princípios clássicos de agrupamento: a) Inexistência de agrupamento, comparativamente a b) agrupamento por proximidade, c) semelhança de cor, d) semelhança de tamanho, e) semelhança de orientação, f) destino comum, g) simetria, h) paralelismo, i) continuidade, j) fechamento, e k) região comum (adaptado de [34]).

O sistema visual também parece organizar os padrões de uma maneira que sugere uma preferência por contornos que continuam suavemente as linhas de origem. Este princípio manifesta-se nos contornos subjectivos – contornos que se vê apesar de serem fisicamente inexistentes. Estes casos são interpretados como um caso especial do bom prolongamento, uma vez que se vê o contorno prolongando o seu percurso original que, se necessário, salta uma ou duas lacunas para conseguir o prolongamento [35].

Todos estes fenómenos de análise perceptiva podem ser encarados como manifestações do princípio de probabilidade máxima [7, 13]. Ou seja, existe a tendência para interpretar um padrão de estímulo proximal como sendo aquele objecto-estímulo exterior que muito provavelmente o provocou como, por exemplo, no caso da camuflagem.

4.4. Reconhecimento de padrões

O reconhecimento de um padrão põe em jogo dois tipos de processos [7]. Um é o processamento ascendente, a partir dos dados, que começa pelo estímulo e lhe dá forma, submetendo-o a uma análise de rede de traços que começa pelas unidades de nível inferior (linhas) para depois activar unidades de ordem superior (figuras geométricas). O outro é o processamento descendente, partir do conhecimento, que se baseia em perspectivas e hipóteses, como é demonstrado pelos efeitos de contexto perceptivos ou de prontidão (Figura 14).



Figura 14: Efeito de contexto no reconhecimento de letras (retirado de [36]).

Os processos descendentes conseguem activar detectores de nível inferior, de modo que estes respondem mesmo a estimulações fracas. Porém, os processos ascendentes e descendentes trabalham em sintonia, tendo como resultado um processo global que permite às unidades inferiores activar as de nível superior e vice-versa - activação bidireccional [7].

Para se explicar como se faz o reconhecimento dos objectos comuns tridimensionais, considera-se que no reconhecimento de um padrão está presente, também, um nível de análise intermédio, através do qual os traços se unem como partes do objecto. Uma das propostas é que estas partes sejam os geões (“iões geométricos”) [37]; ou seja, figuras tridimensionais, como cilindros, cones e pirâmides, que se congregam para constituir uma descrição estrutural do objecto.

No que concerne à sequência de processamento, os processos descendentes levantam hipóteses perceptivas que são, depois, testadas pelos processos ascendentes [22]. Este resultado é, algumas vezes, descrito como resolução de problema perceptivo [7], em que as percepções do observador são guiadas, aparentemente, por alguns princípios lógicos, incluindo o princípio de que deve ser explicada toda a informação contida no estímulo, e que se devem evitar as interpretações baseadas no acaso e na coincidência. Este tipo de lógica perceptiva falha, por vezes, como acontece no caso das figuras impossíveis, ou seja, figuras bidimensionais que são instantânea e inconscientemente interpretadas pelo sistema visual que representa uma projecção de um objecto tridimensional, embora não seja realmente possível ele existir (Figura 15).

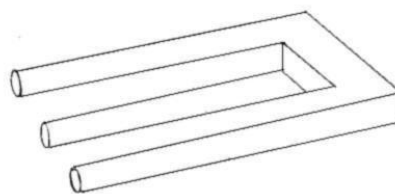


Figura 15: Exemplo de figura impossível (adaptado de [38]).

4.5. Processamento Visual

Os processos neuronais que tornam possível a percepção contêm uma grande quantidade de subsistemas especializados. Assim, na retina existem dois tipos de células ganglionares sensíveis aos diferentes aspectos da estimulação visual [7]: 1) as parvo células, que são sensíveis às diferenças de cor, sendo cruciais para a percepção do padrão e da forma; e 2) as magno células, que são cegas à cor, mas possuem um papel essencial na detecção de movimento e na percepção de profundidade. Já no córtex visual, cada um dos diferentes tipos de células responde a aspectos específicos do estímulo: as células simples reagem fortemente a linhas ou arestas segundo orientações específicas; as células complexas também são sensíveis à orientação do estímulo, mas, contrariamente às células simples, são menos sensíveis à sua posição [39]. Para além destas, existem ainda outras células que respondem especificamente a características mais complexas como cantos e ângulos [7].

O processamento cerebral da informação visual começa no córtex occipital, sendo neste que se encontram as células simples e complexas [7]. Contudo, esta informação é depois transmitida a outras duas áreas cerebrais: o córtex temporal e o córtex parietal (Figura 16). A via que leva a informação ao córtex temporal é frequentemente designada por sistema “o quê” (*what*) e desempenha um papel importante na identificação dos objectos visuais. A outra via, a que leva informação ao córtex parietal, é muitas vezes designada por sistema “onde” (*where*) e informa onde está localizado um objecto [40].

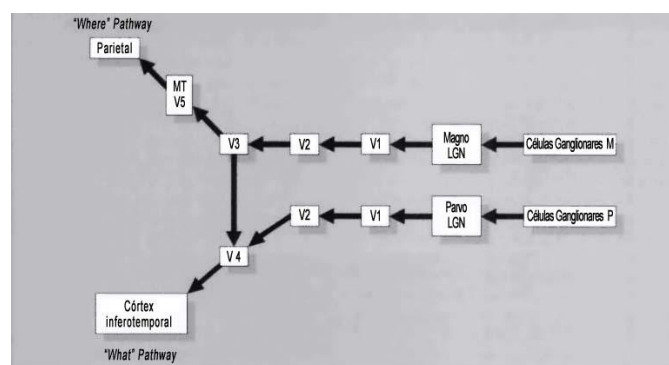


Figura 16: Uma versão simplificada dos *pathways* envolvidos na visão, desde a retina até ao córtex (adaptado de [39]).

O facto de a visão depender de múltiplos subsistemas especializados levanta o problema de descobrir como se integram os pedaços de informação separados para formar um todo perceptivo coerente. Este problema é designado por problema da interligação (*binding*) e continua a ser objecto de intensa investigação actualmente [22].

4.6. Selecção Perceptiva

Raramente o Homem é recipiente passivo da informação. De facto, o Homem vira a cabeça e os olhos para procurar um estímulo interessante, ao mesmo tempo que explora activamente o mundo com todos os seus sentidos. Estas diferentes formas de orientação servem para ajudar os mecanismos sensoriais e fornecem um dos processos mais directos de seleccionar a entrada da estimulação: ao mesmo tempo que se focam os estímulos que interessam, ignoram-se os restantes [13]. Assim, tem-se que toda a percepção se revela bastante selectiva [39]. Esta selecção é conseguida, em parte, pela orientação física, como no caso do movimento dos olhos, uma vez que a visão periférica apenas informa que algo se passa na parte superior esquerda do campo visual. Para saber do que realmente se trata, os olhos movem-se de modo a que essa região incida sobre a fóvea. Com efeito, o movimento na periferia visual tem tendência a desencadear um movimento ocular reflexo, tornando mais difícil não olhar para um objecto em movimento [19].

Contudo, as pessoas não investigam o mundo na esperança de que a fóvea dispare com algum pormenor interessante ou com novidades visuais. O que fazem é recolher informação com interesse quer seja a partir daquilo que vagamente viram na periferia, quer seja a partir das noções gerais que têm acerca do significado do cenário actual [41]. Só depois dirigem o olhar para inspecionar o que viram e para ir mais além no enriquecimento do seu conhecimento visual.

O controlo selectivo da percepção também faz apelo a processos centrais que determinam quais as entradas sensoriais a considerar e o que fazer com as mesmas [39]. Entre os métodos que estudam a atenção estão incluídos o olhar selectivo, como foi demonstrado pelos procedimentos de procura visual (Figura 17), e a escuta selectiva, que se vê em acção na apresentação dicótica (recepção de mensagens diferentes em cada ouvido) ou no efeito de festa *cocktail* (transformação de muitas vozes em ruído de fundo, com excepção de uma), em que uma mensagem é espiada, enquanto outra é ignorada.

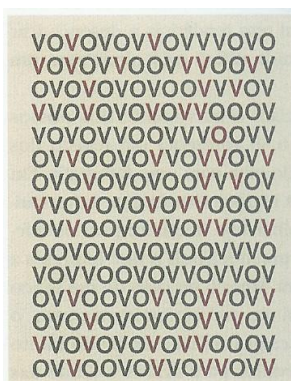


Figura 17: Processamento em série na procura visual: Quando a tarefa consiste em procurar um alvo que é definido por uma conjunção de traços (a vermelho), a procura é feita em série. Cada item é inspecionado por sua vez e aumenta o tempo de procura bem como o número de falsas alternativas (V vermelhos ou verdes, O verdes) (retirado de [7]).

A função básica da organização perceptiva é a de ajudar o organismo a ver o mundo exterior tal como ele realmente é [34]. Uma ilustração disto está nas constâncias perceptivas, graças às quais o sujeito reage a certas características permanentes do objecto distal, apesar de

diversos factores contextuais – iluminação, distância e orientação – que provocam enormes variações no estímulo proximal [7].

Na constância do tamanho e da forma, o sujeito reage segundo [42] ao tamanho e forma real do objecto, com maior ou menor independência da sua distância e da sua orientação, fazendo, aparentemente, inferências inconsistentes acerca do tamanho e da forma com base na distância ao longe e no ângulo de visão [10]. Esta hipótese surgiu visto que as relações de tamanho invariante (Figura 18), e consequentes relações de ordem superior, são insuficientes para explicar todos os casos de constância de tamanho.

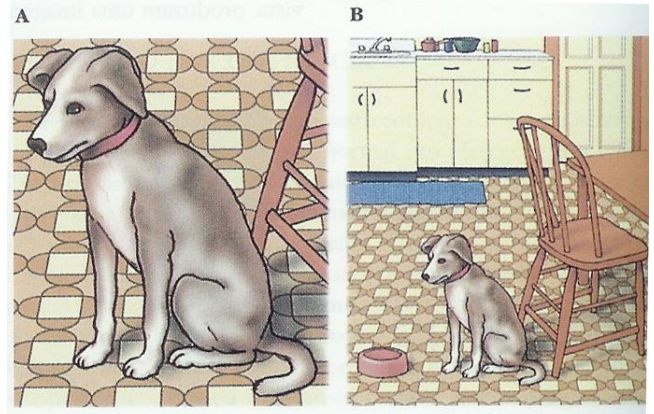


Figura 18: Uma relação invariante que produz informação acerca do tamanho: Nas duas imagens mostra-se um cão a distintas distâncias do observador. O tamanho do cão na retina varia com a distância, mas a razão entre o tamanho retiniano deste e o tamanho retiniano dos elementos de textura contidos nas imagens (azulejos do chão) é constante (retirado de [7]).

Porém, na constância da luminosidade o sujeito baseia-se em informação de ordem superior, reagindo a uma propriedade de um objecto denominada reflectância, que determina a luz que incide nele, e ignorando ao mesmo tempo o nível de iluminação que incide sobre o mesmo. Com efeito, a percepção da luminosidade depende, em grande medida, da razão entre a quantidade de luz reflectada pelo objecto e aquela que é reflectada pelo contexto que o rodeia. O sistema visual humano responde a esta relação, alcançando assim a constância da luminosidade [43]. Este efeito é, provavelmente, produzido pelos mesmos processos, baseados na inibição lateral, que são responsáveis pelo contraste do brilho e fenómenos semelhantes [7].

Segundo aquilo que se compreende actualmente da percepção visual e atendendo ao que foi aqui descrito, tudo indica que os empiristas subestimaram o papel activo do sujeito na organização e interpretação da estimulação visual. A perspectiva inatista desta actividade era mais adequada, embora subestimasse o papel dos mecanismos inatos. O sistema visual é de uma sofisticação impressionante logo à nascença, mas a experiência tem um papel decisivo na moldagem do seu funcionamento. Em conclusão, parece que os mecanismos inatos moldam a aprendizagem e que a aprendizagem molda os mecanismos inatos [7].

5. Visualização

Nos dias de hoje, a quantidade de dados disponíveis aumenta constantemente sendo habitual chegar-se aos milhões de elementos de dados, possuindo cada elemento diversos atributos. Isto ocorre em muitos domínios do saber e faz com que as aplicações de métodos e sistemas tradicionais para a visualização e análise de dados se tornem insuficientes, complexos e ineficientes [44].

A área de visualização centra-se normalmente em representar dados em bruto na forma de imagens de forma adequada, fornecendo assim meios de analisar visualmente conjuntos de dados de elevada dimensão e complexidade, sendo uma importante mais-valia para a descoberta de novos relacionamentos e dependências entre os dados. Tal acontece porque as visualizações, devido às referidas representações visuais, fornecem um grande apoio cognitivo através de vários mecanismos que exploraram as potencialidades da percepção humana, bem como a rapidez do processamento visual.

Porém, a forma como as pessoas percebem e reagem ao resultado da visualização influencia fortemente o seu entendimento dos dados representados bem como a sua utilidade. Assim, os factores humanos contribuem significativamente no processo de visualização e devem desempenhar um papel importante no projecto e na construção de uma ferramenta adequada de visualização. Por outro lado, com esta contribuição a análise dos dados torna-se mais rápida e exploratória, permitindo inclusivamente novas inferências e descobertas quando os resultados exibidos se estabeleceram usando técnicas de visualização baseadas em regras perceptivas já anteriormente mencionadas, sobretudo as que exploram todo o potencial do sistema visual humano [45].

Actualmente, várias iniciativas de investigação começaram já a explorar a influência dos factores humanos na visualização, particularmente em projectos com base na percepção humana e interacção homem-computador. Contudo, a maioria dos trabalhos na área de visualização que envolvam factores humanos de forma bem vinculada encontram-se ainda em fase de aperfeiçoamento, existindo um grande potencial de desenvolvimento nesta temática.

5.1. Definição de Visualização

Para se perceber melhor todo o processo de visualização de dados é importante compreender os conceitos que este encerra. Assim, por processo de visualização, ou somente visualização, entende-se o acto ou efeito de visualizar; conversão de conceitos em imagens ou formas visíveis; formação da imagem mental de um conceito abstracto ou, no âmbito da computação, como tudo o que o ecrã de um computador nos mostra: textos, desenhos, gráficos [46]. Por sua vez, o termo inglês *to visualize* é definido no *Oxford English Dictionary* da seguinte forma: “to form a mental vision or image; to make visible to the mind or imagination (something abstract or not visible or present to the eye)”, ou seja, formar uma visão ou imagem mental; tornar visível à mente ou imaginação (algo abstracto ou não visível ou presente ao olho) [47].

Num contexto mais geral, o termo visualização significa construir uma imagem visual na mente, sendo isto mais do que uma representação gráfica de dados ou conceitos. Assim, uma visualização, para além de ser uma construção interna da mente, pode funcionar como uma ferramenta cognitiva, tornando-se um artifício externo de apoio ao

processo de tomada de decisão e construção de conhecimento, que utilize e maximize as capacidades perceptivas e cognitivas do ser humano. Isto vem ao encontro ao referido por Stuart Card em [2] que define, de forma mais específica, a visualização como sendo “o uso de representações visuais de dados abstractos, suportadas por computador e interactivas, para ampliar a cognição”.

Mais do que uma mera observação de dados, a visualização contribui de maneira mais significativa no processo de análise destes. Assim, organizando os dados de forma criteriosa, com o objectivo final da sua visualização, consegue-se adquirir maior informação e possibilitar a construção de novos conhecimentos. De facto, de há uns anos a esta parte, as ferramentas computacionais de visualização têm dado cada vez mais apoio no processo de análise eficiente dos dados considerados. De forma sucinta, estas ferramentas podem prestar apoio em três actividades essenciais [45]:

- **Análise exploratória** – Utilizada quando o utilizador pretende descobrir novos conhecimentos presentes nos dados de forma analítica, procurando, através de um processo visual analítico, indicações sobre tendências particulares e relações que podem conduzir a uma hipótese sobre as mesmas;
- **Análise confirmatória** – Utilizada para aceitar ou rejeitar a hipótese do utilizador, através de exploração visual;
- **Apresentação** – Utilizada para representações gráficas e exibição do relacionamento, organização, comportamento e outras características relativas aos dados.

5.2. Evolução histórica

A visualização de dados, conceitos ou informação não é algo que tenha surgido na sociedade moderna. Com efeito, as primeiras formas de visualização surgiram na pré-história e a sua evolução tem sido contínua desde então. Começou-se pelos mapas territoriais, seguindo-se os diagramas geométricos, tabelas de posicionamento de estrelas e corpos celestes e mapas que auxiliariam na navegação e exploração do mundo. No século XVI, as técnicas e instrumentos de precisão, para observação e medição de quantidade físicas, tiveram um grande avanço; tanto que podem ser observadas as primeiras tentativas para a representação de funções matemáticas [45]. Um exemplo disto é apresentado na Figura 19.

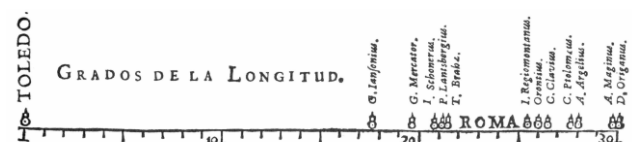


Figura 19: Gráfico de Langren (1644) que permite obter a distância, em longitude, de Toledo a Roma. A distância correcta é 16°30' (retirado de [48]).

A elaboração de uma visão geral e precisa sobre os desenvolvimentos mais recentes na visualização de dados não é uma tarefa fácil, uma vez que os acontecimentos são muito variados e ocorrem em ritmo muito acelerado e

numa ampla variedade de disciplinas. Porém, pode-se ressaltar que, na actualidade, os acontecimentos mais significativos em termos de visualização dependeram directa e indirectamente de alguns avanços teóricos e tecnológicos, nomeadamente da extensão dos modelos estatísticos clássicos a domínios mais vastos e do desenvolvimento computacional, o que conduziu a um crescimento explosivo em novos métodos e técnicas de visualização de informação [48].

5.3. Processo de visualização de dados

Ao longo do processo evolutivo da visualização percebe-se que em muitos momentos, além das preocupações com o rigor e com a precisão dos dados, a forma estética teve sempre uma especial atenção. De facto, embora por vezes se considere a visualização como uma área de estudo autónoma, esta tem recebido importantes contribuições de outras disciplinas, como ciências da computação, psicologia, semiótica, *design* gráfico, cartografia, artes, entre outras. Porém, apesar de a visualização ser importante em vários domínios do saber, deve ter-se em conta que existe sempre um objectivo comum de referência: o uso da metáfora visual para a representação da estrutura e dos relacionamentos entre os dados [49].

Nesta perspectiva, a tendência actual é que a visualização deve ser enriquecida com princípios de outras áreas relevantes, a fim de desenvolver representações de dados que reforcem a experiência perceptiva e cognitiva, em vez de se focarem unicamente na eficácia métrica. O grande potencial para o futuro próximo está especialmente em ambientes imersivos, onde as informações serão literalmente percebidas através da activação de todos os sentidos.

Noutro âmbito, o processo de visualização de dados pode ser considerado interpretativo, já que a partir de um determinado conjunto de dados originais, deve ser gerado uma interpretação visual destes. Assim, para a análise de informações relevantes relativas aos mesmos, devem ser usados modelos gráficos e representações visuais de dados, que suportem a interacção directa do utilizador com as representações originadas. É aqui que entram as teorias da visualização de dados, visando analisar e explicar a relação entre os dados e as suas visualizações efectivas [45].

Em geral, pode-se distinguir as condições de visualização de dados de forma eficaz em condições necessárias e suficientes. Esta distinção está intimamente relacionada com a distinção bem conhecida entre a expressividade e eficácia. Porém, existem duas razões para não usar esta distinção. Em primeiro lugar, o critério de expressividade é definido em relação a uma linguagem gráfica que este projecto pretende ver algo abstraída. De facto, esta linguagem não pode nem deve ter um papel limitador na investigação. Em segundo lugar, o critério de expressividade é considerado satisfeito se e somente se os dados estão representados na estrutura visual e o critério de eficácia é reivindicado como cumprido se o mecanismo do sistema visual humano é tido em consideração. Contudo, o critério de expressividade só faz sentido se as estruturas visuais forem perceptíveis. Isto implica pois que ambos os critérios dependem do sistema visual humano e que a distinção entre expressividade e eficácia não é uma

distinção entre condições dependentes ou não de funções perceptivas.

De forma a simplificar o processo de mapeamento e representação visual tendo por base princípios de percepção visual, existem soluções que procuram considerar fundamentos da teoria de informação, de estatística, de *data mining* e de *machine learning* [4, 50]. Do mesmo modo, a arte e o design também vêm acrescentando algumas contribuições positivas a esta questão apesar do problema que ainda existe de “combinar áreas heterogéneas com o objectivo de gerar soluções genéricas e satisfatórias” [45]. Por outro lado, considerando a visualização como um processo cognitivo, os sentidos da percepção humana têm um papel importante na área de Visualização Científica e podem melhorar em muito a quantidade e qualidade da informação apresentada através de imagens geradas por computador. A tendência será assim a inclusão de outros sentidos de forma a complementar a análise de dados como o sistema auditivo e o processo de sonificação [51]. De facto, espera-se que esta inclusão possa vir a “ajudar no mapeamento de dados associados a padrões de difícil percepção visual, nomeadamente grandes séries de dados e de multidimensionalidade elevada” [45].

Nesta fase, é importante salientar que tradicionalmente a visualização é dividida em duas áreas: a visualização de informação e a visualização científica. A visualização de informação envolve dados abstractos que são caracterizados pela falta da noção natural de posição no espaço [49]; por exemplo, dados resultantes de aferições, análise de textos, dados financeiros, entre outros. Deste modo, a visualização de informação difere claramente da visualização científica pois esta envolve dados de natureza física, que carregam intrinsecamente a componente de posicionamento espacial e que permitem a simulação por reprodução gráfica; por exemplo, dados geo-espaciais, imagens médicas, estruturas químicas, entre outros.

Um dos principais desafios da visualização científica centra-se na escolha de uma representação gráfica adequada para os dados e que considere de forma apropriada os princípios da percepção humana. Com efeito, tal não é uma tarefa simples principalmente quando se considera a visualização de dados abstractos. Esta dificuldade em implementar sistemas computacionais para representar dados com base nos princípios da percepção humana, tem levado alguns autores a defenderem que isto nunca será totalmente conseguido [52], pois “existe um grande número de atributos associados aos dados que pretendem valer-se da aplicação concorrente dos princípios da percepção, dificultando assim as representações visuais mais adequadas” [45].

5.4. Visualização de dados e Percepção

Como já referido, os sentidos são a base da percepção humana. Assim, o sistema sensorial humano é constantemente estimulado por um fluxo de acontecimentos que nos envolvem. O resultado é uma excitação neural denominada por sensação. Este fluxo contínuo de sensações desencadeia o que chamamos de percepção. A visualização da informação explora principalmente o sentido humano que possui maior aptidão para captação de informação temporal e já amplamente descrito: a visão.

Porém, considerando a visualização como sendo um processo mental, outros factores da percepção humana podem também ser usados de forma a contribuir na visualização, auxiliando os processos cognitivos humanos na recuperação da informação contida nas imagens criadas a partir dos respectivos dados; e muitas vezes ainda na construção e obtenção de novos conhecimentos que não seriam tão facilmente inferidos se esses dados estivessem na sua forma original (dados em bruto) [45]. Assim, todos os sentidos da percepção humana desempenham um papel importante na área de visualização e podem e devem melhorar significativamente tanto a qualidade como a quantidade da informação que é apresentada através de imagens [3].

A visualização, para além de condensar os dados, permite gerar novas informações com maior facilidade, mesmo com dados relativamente elementares. De facto, a simples representação de uma tabela de gastos mensais num determinado período, por exemplo, permite que surjam algumas questões relativas a períodos onde ocorreram mais gastos ou a tendências de controlo de despesa. Para responder a estas questões com base apenas numa tabela, existe uma certa dificuldade, mas com gráficos circulares ou de linhas, pode resolver-se este problema de forma simples, para além da possibilidade de se realizarem novas inferências sobre os dados. Por aqui se percebe que a visualização de dados, nas suas diversas formas, pode também ser marcada por uma complementaridade de informação que serve suporte ao processo de tomada de decisão.

Alguns trabalhos, como os descritos em [53], [54] e [55], permitem constatar que a implementação dos conhecimentos acerca da percepção humana na elaboração dos sistemas de visualização, tende a melhorar consideravelmente os resultados obtidos através das imagens obtidas. Por exemplo, “profundidade de foco” traduz uma determinada distância em que os objectos aparecem realçados para uma posição particular da lente do olho. Por seu lado, os objectos fora deste alcance aparecerão desfocados [53]. Assim, o efeito de focar pode ser usado para salientar informações e ofuscar as menos relevantes numa análise. Este efeito pode ser implementado para focar objectos que não possuem profundidades necessariamente semelhantes, mas características semelhantes e pertinentes para uma dada análise [45].

5.5. Modelos da Percepção Visual Humana

Colin Ware, em [3], faz questão de realçar a aptidão do sistema visual humano para compreender padrões, e por extensão, dados: “Por que devemos estar tão interessados na visualização? Porque o sistema visual humano é um investigador de padrões com enorme poder e acuidade. O olho e o córtex visual do cérebro formam um poderoso centro de processamento paralelo que fornece um canal de banda larga para os processos cognitivos humanos. Nos níveis mais altos de processamento, percepção e cognição estão proximamente relacionadas, e é por isso que as palavras *perceber* e *ver* são sinónimas”.

Algumas das vantagens da visualização usualmente aceites são [3]:

- A visualização possibilita a capacidade de compreender grandes volumes de dados, ficando

as informações importantes disponíveis imediatamente;

- A visualização permite a percepção de características que não são antecipadas apenas com os dados originais. Sendo que frequentemente a percepção de um padrão pode ser a base para uma nova visão sobre a temática;
- A visualização permite que problemas relativos aos dados tornem-se imediatamente aparentes. Com uma visualização apropriada os erros ou anomalias presentes nos dados são rapidamente identificados. Para esta razão, visualizações podem ter um valor inestimável por exemplo em controlo de qualidade;
- A visualização facilita a compreensão de características dos dados quer em grande, quer em pequena escala. Isto pode ser especialmente útil ao permitir a percepção de padrões;
- A visualização facilita a formulação de hipóteses.

Um modelo simplificado do sistema de processamento de informação através da percepção visual é frequentemente útil como ponto de partida para análises mais detalhadas. Já uma visão geral da estrutura que engloba estes subsistemas é de extrema valia para a compreensão de todos os processos envolvidos. Em [3] o referido sistema é dividido em três fases:

1. Processamento paralelo para extrair propriedades de baixo nível da cena visual em causa;
2. Percepção de padrões na imagem formada;
3. Processamento sequencial dirigido.

5.5.1. Processamento Paralelo

A informação visual é a primeira a ser processada por biliões de neurónios que trabalham em paralelo para extrair características de cada zona da imagem adquirida da cena visual em causa; sendo que determinados neurónios são dedicados a extrair certas informações como: orientação dos contornos, cor, textura e padrões de movimento. É nesta fase que é determinado a que se deve dar atenção. Assim, nesta fase as informações são essencialmente de natureza transitória [3]. Durante alguns anos, a forma como o sistema visual humano analisa imagens foi tema de investigação. Um dos resultados iniciais mais importantes foi a descoberta de um conjunto de propriedades visuais que são detectadas de forma muito rápida e precisa pelo sistema visual de baixo nível. Esta propriedade foi inicialmente designada por *preattentive*, e é o momento anterior à nossa atenção estar focalizada. Em visualização o termo *preattentive* continua a ser usado e traduz a noção da velocidade e da facilidade com que certas propriedades são identificadas pelos humanos nas representações visuais.

A lista de características que se processam de forma *preattentive* pode ser dividida em quatro categorias básicas: cor, forma, movimento e localização espacial; sendo que dentro de um determinado espaço de visualização, qualquer modificação das características *preattentive* de um

objecto em relação aos demais, poderá vir a tornar-se foco de atenção [56].

5.5.2. Percepção de Padrões

Na segunda etapa, processos activos dividem rapidamente o campo visual em regiões e padrões simples, tais como contornos contínuos, regiões da mesma cor e regiões da mesma textura. Os padrões de movimento são também extremamente importantes, embora na visualização o uso de movimento como informação é relativamente descurado. A etapa de determinação de padrões no processamento visual é extremamente flexível e influenciada pelas informações disponibilizadas pela primeira etapa de processamento paralelo.

Nesta segunda etapa o processamento é mais lento e envolve: memória a longo prazo, com maior ênfase a aspectos proeminentes, mecanismo de atenção tanto *top-down* quanto *bottom-up* e movimentos visualmente guiados, através de diferentes caminhos, para reconhecimento de objectos [3].

5.5.3. Processamento Sequencial Dirigido

Num nível mais elevado da percepção estão as imagens presentes na memória visual através da procura da atenção activa, e será esta memória que ajudará a responder a pesquisas visuais.

Quando da visualização externa, o ser humano constrói uma sequência de pesquisas visuais que são respondidas por estratégias visuais de procura. Neste nível, o que está retido na memória por um determinado período de tempo permitirá a construção de padrões, através dos já disponíveis, e respostas a pesquisas visuais. Por exemplo, ao se usar um mapa de estrada para procurar uma determinada rota, a pesquisa visual desencadeará uma procura para ligar contornos vermelhos (que habitualmente representa vias importantes) entre dois símbolos visuais (representando as cidades pretendidas) [3].

Esta etapa serve também de interface com outros processos de identificação perceptivos e com outros sistemas de acção que controlam, por exemplo, o movimento muscular; sendo esta fase também essencial, por exemplo, para que nos seja possível a leitura e a escrita.

5.6. Modelo de referência para visualização de dados

Um modelo de referência de visualização visa permitir a identificação dos componentes essenciais a serem considerados na utilização de uma determinada técnica ou no desenvolvimento de uma nova. Haber e McNabb, em [57], propuseram um esquema simples (Figura 20), onde *dados* são *filtrados* e *mapeados* para uma representação geométrica, a qual, finalmente, passa por um processo de geração de imagem (*rendering*). Outros autores propuseram modelos alternativos, mais detalhados onde está explicitamente representado o estado dos dados. O modelo de Chi e Riedl proposto em [58], por exemplo, separa a estruturação dos dados, obtida através de uma transformação, da representação a ser utilizada para a geração da imagem [59].

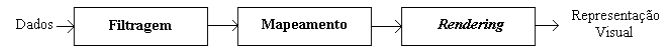


Figura 20: Modelo clássico de visualização de Haber e McNabb (retirado de [59]).

Stuart Card, em [2], descreve visualização como uma sequência de mapeamentos “ajustáveis” de dados para uma representação visual de modo a possibilitar interação do utilizador com o espaço de informação, materializando o que foi denominado por cristalização do conhecimento. Assim, segundo o modelo de referência para visualização apresentado por Card, no processo de visualização destacam-se três fases essenciais:

1. preparação dos dados (ou pré-processamento);
2. mapeamento;
3. transformação visual (*rendering*).

Na fase de preparação, ocorre a entrada de dados em “bruto” que, após algumas operações de formatação e/ou normalização, devem estar na sua saída organizados numa representação estruturada e coerente como, por exemplo, tabelas. Além da transformação inicial dos dados em bruto em descrições relacionais, podem ser aplicadas novas transformações, quer para agregar novos dados ao conjunto inicial, como calcular grandezas estatísticas, quer para converter os dados originais para outros tipos ou reorganizar o conjunto de dados, classificando-o, por exemplo.

Na fase de mapeamento, existe a associação entre os dados e suas representações gráficas. Assim, um sistema visual que suporte os dados já formatados é usado na fase de *rendering*, concebendo uma imagem de visualização dos dados abrangidos. Desta forma, pode-se afirmar que o mapeamento é tido como essencial na Visualização Científica. De facto, nesta fase devem-se indicar quais os requisitos em relação à percepção visual que deverão ser observados, e ainda quais os que poderão ser intensificados de forma propositada [45]. O objectivo é pois facilitar a compreensão dos dados ou revelar novas informações acerca destes.

A última fase, ou seja, a escolha de uma representação gráfica ajustada aos dados e que considere adequadamente os princípios da percepção humana, não é uma tarefa simples, e consiste ainda hoje num dos principais desafios da Visualização Científica. Isto nota-se de sobremaneira, na visualização de dados abstractos, que são caracterizados pela falta da noção natural de posicionamento espacial [49]. Esta dificuldade em implementar computacionalmente uma representação dos dados baseada nos princípios da percepção humana, leva alguns investigadores, como Chen em [52], a concluir que isto pode nunca ser totalmente conseguido, uma vez que existe um grande número de atributos associados aos dados que pretendem valer-se da aplicação concorrente dos princípios da percepção, dificultando assim representações visuais mais eficientes.

6. Técnicas de Visualização

Nesta secção são descritas de forma sucinta algumas técnicas de visualização que representaram avanços significativos nesta temática, bem como as mais recentes que demonstram toda a expansão que esta área de conhecimento tem exibido.

6.1. Visualização de atributos

De uma maneira geral, os atributos e características de um determinado objecto são apresentados em gráficos e/ou mapas dos mais diversos tipos, desde os tradicionais gráficos de pontos ou linhas com cores, a conjuntos de ícones, ou *glifos*, dispostos de acordo com o domínio espacial. Os ícones em geral são utilizados para identificar uma entidade ou elemento amostrado num contexto, representando na maioria das vezes a característica principal dessa entidade ou amostra. Já a denominação *glifo* é utilizada para denominar um objecto geométrico que, representando uma entidade ou elemento de amostragem, tem a forma e outros atributos visuais determinados pelos valores dos atributos dessa mesma entidade [59]. Um exemplo recente da utilização de *glifos* [60] utiliza um esquema que representa valores associados a variáveis medidas no ciclo de vida de um sistema computacional (Figura 21).

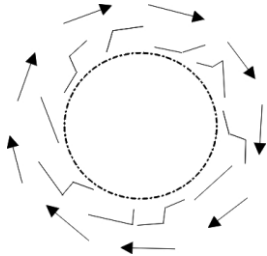


Figura 21: *Glifo* utilizado para a visualização da variação de medidas relacionadas com o desenvolvimento de um sistema computacional (retirado de [60]).

Na Figura 21, o ícone corresponde às linhas irregulares dispostas circularmente que são, na realidade, um gráfico de linhas mostrando a variação de determinados valores ao longo do tempo (indicado pelas setas). Exemplos de tais valores são o número de linhas de código do sistema, o número de linhas removidas ou o número de erros detectados. Assim, sistemas estáveis têm as linhas mais horizontais do que sistemas que sofrem contínuas alterações [59].

6.2. Visualização de estruturas e relações

Os conjuntos de dados ou elementos que possuem uma organização do tipo hierárquico, como directórios de arquivos, ou que apresentam variadas relações como documentos num *site*, são muito utilizados na demonstração de técnicas de visualização [59, 61]. Da revisão da literatura percebe-se também que muitos dos conceitos utilizados hoje em dia surgiram de técnicas que, na realidade, visavam apresentar documentos estruturados; isto é, arquivos sequenciais mas com organização hierárquica, como a *Fishbeye View* modelo criado por Furnas em [62], e a *Bifocal Display*, de Spence e Apperley descrita em [63].

Na técnica *Bifocal Display* [63], os itens de informação (documentos, figuras e gráficos) são apresentados em três áreas distintas, sendo a central destinada à informação em destaque, e as outras informações mais genéricas apresentadas nas zonas laterais da região em foco. A parte central ocupa assim uma área maior que as laterais, que são preenchidas pela informação contextual sendo esta exibida de forma distorcida [59]. Esta distorção é

efectuada geralmente no eixo das abcissas, podendo contudo também ser aplicada no eixo das ordenadas (Figura 22a). O mesmo conceito foi utilizado de forma alterada por Mackinlay [61] na *Perspective Wall* (Figura 22b), onde o espaço de informação é mapeado para uma “parede”, contendo as laterais a informação contextual.

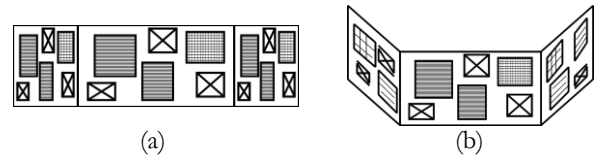


Figura 22: Representação visual na técnica: (a) *Bifocal Display*; (b) *Perspective Wall* (retirado de [59]).

Noutro âmbito, a técnica *Cone Tree* proposta em [64] utiliza uma representação tridimensional de informações hierárquicas na qual o elemento raiz de uma árvore, representado por um rectângulo, é localizado no vértice de um cone transparente, estando todos os seus “filhos” dispostos na base circular do cone (Figura 23). Os cones apresentam a mesma altura para cada nível da árvore mas os seus diâmetros são reduzidos de um nível para outro, de modo a que toda a estrutura seja visível na área disponível do ecrã. O objectivo desta técnica é pois apresentar uma estrutura na qual uma hierarquia inteira ou uma grande parte desta seja visível sem necessidade de *scrolling*, permitindo contudo a supressão ou exibição de alguns elementos diferentes durante a navegação. Alguns recursos computacionais como a rotação, a animação e o *zoom* permitem um acesso rápido às informações, com uma boa orientação para visualização [59].

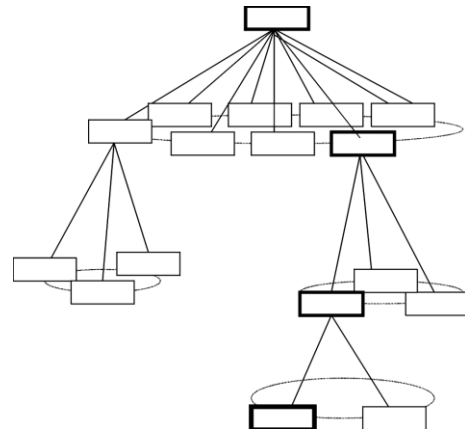


Figura 23: Esquema básico da técnica *Cone Tree* (retirado de [59]).

Uma abordagem diferente, conhecida como *space-filling* [59], usa o espaço do ecrã para representar a informação, ao invés de utilizar objectos geométricos. Esta abordagem foi adoptada por Johnson e Shneiderman aquando do desenvolvimento da técnica *Tree-Maps* [65]. Nesta técnica (Figura 24), uma estrutura hierárquica, como a árvore de directórios um sistema, é representada pela subdivisão sucessiva do espaço do ecrã. Deste modo, cada “subespaço” representa um directório e é subdividido em função dos subdirectórios e arquivos que o constituem.

A técnica *Information Slices* [66], originada a partir da abordagem referida acima, utiliza uma ou mais discos semicirculares (Figura 25) para visualizar hierarquias com vários níveis em duas dimensões de forma compacta [66]. Assim, cada disco representa uma hierarquia com múltiplos níveis (geralmente em cada disco são

visualizados entre 5 e 10 níveis). Em cada nível da hierarquia, os “filhos” são dispostos no espaço de acordo com o seu tamanho. Assim, grandes hierarquias são representadas usando uma série de discos em cascata. Nesta técnica, uma fatia do disco semicircular é expandida para uma área à direita da primeira, também como um semicírculo. Para exibir mais do que dois níveis de uma hierarquia, os de ordem superior são representados por ícones [59]. Na interface do sistema *Sunburst* [67], Stasko e Zhang usam discos completos, seguindo contudo o mesmo conceito da técnica *Information Slices*.

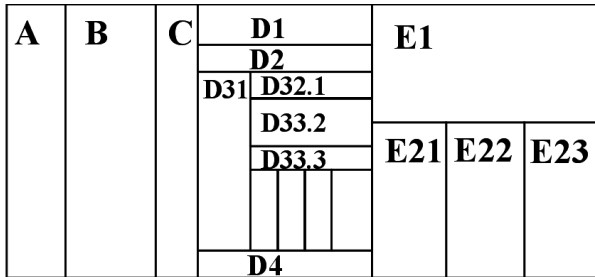


Figura 24: Esquema da técnica *Tree-Maps* (retirado de [65]).

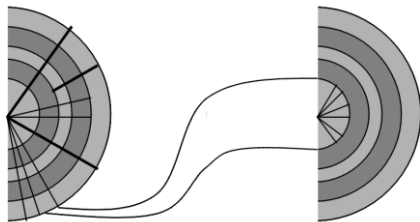


Figura 25: *Information Slices* (retirado de [66]).

O conjunto de técnicas para a representação de grafos e árvores através de diagramas de *nodos* (pontos de interconexão com uma estrutura ou rede) e arestas mereceu uma atenção por parte Herman em [68]. Aqui destaca-se uma das técnicas que significou na altura um avanço considerável em termos de apresentação e navegação, a técnica *Hyperbolic Tree* [69] (Figura 26). Esta técnica representa hierarquias através de um *layout* radial disposto num plano hiperbólico e depois mapeado num disco de duas dimensões. Para além disto, esta técnica apresenta aspectos de construção como o efeito *fishbeye* [62] aliados a um mecanismo simples de navegação através da indicação de um *nodo* de interesse, que é exibido no centro da representação, em detalhe, sendo a área de contexto mantido pela exibição do restante do diagrama com *nodos* que vão diminuindo de tamanho até serem omitidos na borda do círculo [59]. Uma extensão para 3D desta técnica foi desenvolvida por Munzner em [70].

Algumas características da abordagem hiperbólica e da *space-filling* foram utilizadas numa técnica proposta mais recentemente [71]. Nesta técnica uma hierarquia é exibida através de um diagrama composto por duas áreas conexas: uma área de contexto e uma área de detalhe (Figura 27). Inicialmente, a raiz da hierarquia está em destaque na área de detalhe, não havendo qualquer diagrama na área de contexto. Porém, quando um *nodo* é seleccionado, este passa a ser o destaque na área de detalhe e o seu “*nodo* pai” passa a ser o destaque na área de contexto. Estes destaques ou focos definem áreas circulares e são separados por uma distância calculada de forma arbitrária. Desta forma, é permitido ao utilizador uma visão

detalhada da “subárvore” que contém o *nodo* de interesse sem que a percepção da hierarquia completa seja perdida. O efeito *fishbeye* é obtido através do cálculo do tamanho dos *nodos* e da distância do centro do *nodo* aos focos. Para além disto, *nodos* mais distantes dos focos são menos detalhados que os mais próximos, sendo os *nodos* representados por rectângulos dispostos de forma radial com os focos nos centros das estruturas. Diversas operações como expansão, *pruning* (poda) e selecção são disponibilizadas por esta técnica, sendo realizadas mantendo a “subárvore” sempre visível, o que reduz a sensação de alguma perda de contexto [59].

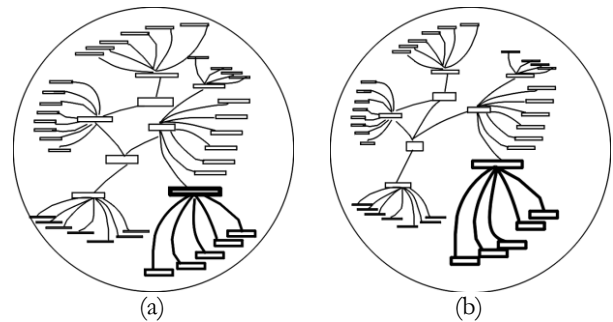


Figura 26: Representação utilizada no *browser hiperbólico* (retirado de [69]): (a) árvore com *nodo* seleccionado; (b) deslocamento do *nodo* seleccionado para a esquerda.

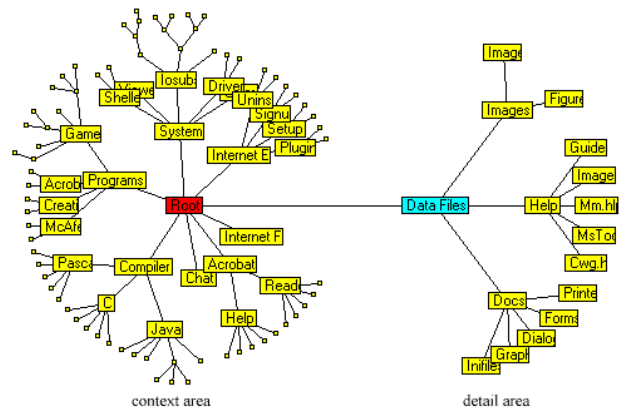


Figura 27: Técnica para informações hierárquicas com dois focos (retirado de [71]).

7. Conclusões finais

O desenvolvimento de técnicas de visualização tem sido, por norma, baseado em implementações experimentais avaliadas de forma empírica e isolada. Apesar da existência de inúmeras directrizes clássicas [72] e uma constante preocupação com aspectos relacionados com a interacção homem-computador, alguns elementos das representações visuais podem tornar-se problemáticos se não forem definidos mecanismos de interacção para minimizar o seu impacto no processo de percepção. Assim, aspectos como a oclusão de objectos, a desordem visual e a desorientação visual dificultam a interpretação da informação por parte do utilizador [59].

Com efeito, a *occlusão de objectos* ocorre quando existe um grande volume de informação e alguns elementos se sobrepõem a outros. Já a *desordem visual* decorre da dificuldade de reconhecimento e interpretação pelo utilizador de muitos elementos (não necessariamente sobrepostos) presentes na visualização, forçando assim a uma sobrecarga no seu sistema cognitivo. Para resolver

estes problemas, algumas técnicas utilizam características de realismo, tais como sombra e transparência tornando a localização dos objectos mais clara ao utilizador. Podem ser ainda proporcionados mecanismos básicos de manipulação geométrica como rotação, mudança de escala e translação dos objectos para a minimização destes dois problemas. Outras técnicas podem apresentar o problema de *desorientação visual*, que ocorre quando o utilizador tem dificuldade em manter a sua atenção focalizada (concentrada) aquando da troca do ponto de vista e/ou retorno a situações anteriores. Técnicas *foco+contexto* tentam minimizar esta desorientação evitando que informações desapareçam e apresentando ao mesmo tempo transições suaves e animadas entre dois momentos no processo interactivo [59].

Em síntese, é inegável que a percepção humana desempenha um papel de grande importância na eficácia do processo de visualização de dados. Contudo, contornar o problema da integração de requisitos da percepção humana na visualização computacional de dados exige cada vez mais esforços de diferentes áreas científicas. De facto, quando a quantidade de dados se torna de elevada dimensão e com multiplicidade de atributos, o seu mapeamento computacional é bastante complexo, tendo em vista uma visualização adequada.

Neste âmbito, trabalhos recentes em percepção e cognição, com base no design, têm vindo a produzir novas soluções para a visualização de dados [73]. Exemplos específicos incluem maneiras de melhorar a percepção da forma 3D, técnicas para que exista uma mais fácil distinção de objectos em destaque, novos métodos de interacção, processamento mais rápido para uma melhor interactividade e métodos de redução do uso de memória computacional (visualização de detalhes e/ou contexto). Como muitas destas áreas de pesquisa ainda não atingiram o seu pleno potencial, o futuro parece assim ser muito promissor. Além disto, muitos tópicos de design baseados em factores humanos ainda não foram explorados pelos investigadores em grande profundidade, uma vez que grande parte da metodologia actual para a elaboração de sistemas de visualização revela-se informal e *ad hoc*. Desta forma, desenvolver métodos rápidos de prototipagem e avaliação, especificamente para a visualização, pode diminuir significativamente o tempo e o esforço investidos em projectos ineficazes e, assim, acelerar o progresso na investigação do processo de visualização [73].

Uma nova metodologia específica para a apresentação visual de dados, está assim a ser desenvolvida, constando esta numa adaptação dos métodos actuais como forma de determinar e avaliar as suas próprias insuficiências e virtudes.

Referências

- [1] C.G. Healey, "Building a Perceptual Visualisation Architecture", *Behaviour & Information Technology*, **19**(5):349-366, 2000.
- [2] S.K. Card, J. Mackinlay, B. Shneiderman, *Readings in Information Visualization: using vision to think*, Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
- [3] Colin Ware, *Information Visualization: Perception for Design*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publisher, 2004.
- [4] M. Synnestevedt, C. Chen, "Design and Evaluation of the Tightly Coupled Perceptual-Cognitive Task" in *Knowledge Domain Visualization, The 11th International Conference on Human-Computer Interaction*, 2005.
- [5] J. Locke, *An essay concerning human understanding*, Cleveland: Meridian Books, 1964.
- [6] C. Distler, D. Boussaoud, R. Desmone, L.G. Ungerleider, "Cortical connections of inferior temporal area REO in Macaque monkeys", *Journal of Comparative Neurology*, **334**:125-150, 1993.
- [7] H. Gleitman, A.J. Fridlund, D. Reisberg, *Psychology*, 6th Ed., New York, 2004.
- [8] Nicholas Pastore, *Selective History of Theories of Visual Perception: 1650-1950*, New York: Oxford University Press, 1971.
- [9] Irvin Rock, *An Introduction to Perception*, New York, Macmillan Publishing Co., Inc., 1975.
- [10] H. Helmholtz, J.P.C. Southall, *Treatise on physiological optics*, Mineola, NY: Dover Publications, 2005.
- [11] Immanuel Kant, *Crítica da razão pura*, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1997.
- [12] Gustav Fechner, *Elements of psychophysics* (D. H. Howes and E. G. Boring, Edit.; H. Adler, Trans.), New York: Holt, Rinehart and Winston, 1966.
- [13] E.B. Goldstein, *Sensation and Perception*, 7th Ed., Belmont: Wadsworth Publishing, 2007.
- [14] A.C. Guyton, *Tratado de Fisiologia Médica*, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.
- [15] G.T. Paxinos, Juergen K. Mai, *The Human Nervous System*, 2nd Ed., Academic Press, 2003.
- [16] R.M. Pritchard, "Stabilized images on the retina", *Scientific American*, **204**:72-78, 1961.
- [17] L.A. Riggs, F. Ratliff, J.C. Cornsweet, T.N. Cornsweet, "The disappearance of steadily fixated visual test objects", *Journal of the Optical Society of America*, **43**:495-501, 1953.
- [18] R.A. Wilson, Frank C. Keil, *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1999.
- [19] S.E. Palmer, *Vision Science: Photons to Phenomenology*, MIT Press, 1999.
- [20] R. Baumann, R. van der Zwan, E. Peterhans, "Figure-ground segregation at contours: a neural mechanism in the visual cortex of the alert monkey", *Eur J Neurosci*, **9**(6):1290-303, 1997.
- [21] R.L. Gregory, *A Psicologia da Visão (O Olho e o Cérebro)*, Porto: Editorial Inova, 1968.
- [22] V.S. Ramachandran, *Encyclopedia of the Human Brain*, Academic Press, 2002.
- [23] L.M. Hurvich, D. Jameson, "An opponent-process theory of color vision", *Psychological Review*, **64**(6):384-404, 1957.
- [24] Michela Gallagher, Randy J. Nelson, *Biological Psychology, Handbook of Psychology*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [25] J.J. Gibson, *The Ecological Approach to Visual Perception*, Lawrence Erlbaum Associates Inc, US, 1986.

- [26] M. Wertheimer, *Laws of organization in perceptual forms: A source book of Gestalt psychology*, London: Routledge & Kegan Paul, 1938.
- [27] B. Bridgeman, L. Stark, "Ocular proprioception and efference copy in registering visual directions", *Vision Research*, **31**:1903-13, 1991.
- [28] K. Koffka, "Perception: An introduction to the Gestalt-theorie", *Psychological Bulletin*, **19**:531-585, 1922.
- [29] A. Treisman, "Features and Objects in Visual Processing", *Scientific American*, **255**(5):106-115, 1986.
- [30] E.B. Goldstein, *Blackwell Handbook of Perception*, Oxford, Blackwell Publishers Ltd, 2001.
- [31] S. Yantis, *Visual Perception: Essential Readings (Key Readings in Cognition)*, Philadelphia: Taylor & Francis, Psychology Press, 2001.
- [32] S.P. Vecera, E.K. Vogel, G.F. Woodman, "Lower region: A new cue for figure-ground assignment", *Journal of Experimental Psychology: General*, **131**:194-205, 2002.
- [33] B. Julesz, "Perceptual limits of texture discrimination and their implications to figure-ground separation", In E. Leeuwenberg and H. Buffart (Eds.), *Formal theories of perception*, pp. 205-16, New York: Wiley, 1978.
- [34] A.F. Healy, Robert W. Proctor, *Experimental Psychology, Handbook of Psychology*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [35] P.J. Kellman, T.F. Shipley, "A theory of visual interpolation in object perception", *Cognit Psychol*, **23**(2):141-221, 1991.
- [36] O.G. Selfridge, "Pattern recognition and modern computers", In *Proceedings of Western Joint Computer Conference*, Los Angeles, Calif., 1955.
- [37] I. Biederman, "Recognition-by-components: A theory of human image understanding", *Psychological Review*, **94**:115-47, 1987.
- [38] L.S. Penrose, R. Penrose, "Impossible objects: A special type of visual illusion", *British Journal of Psychology*, **49**:31-33, 1958.
- [39] Michael W. Eysenck, Mark T. Keane, *Cognitive Psychology: a Student's Handbook*, 5th Ed., Hove and New York, Psychology Press, 2005.
- [40] A.D. Milner, "Neuropsychological studies of perception and visuomotor control", *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, **353**(1373, Brain Mechanisms of Selective Perception and Action):1375-1384, 1998.
- [41] I. Biederman, A.L. Glass, E.W. Stacy Jr., "Searching for objects in real-world scenes", *J Exp Psychol*, **97**(1):22-27, 1973.
- [42] J.J. Gibson, *The perception of the visual world*, Boston: Houghton Mifflin, 1950.
- [43] H. Wallach, "Brightness constancy and the nature of achromatic colors", *Journal of Experimental Psychology*, **38**:310-24, 1948.
- [44] C.G. Healy, "Building a Perceptual Visualisation Architecture", *Behaviour & Information Technology*, **19**(5):349-366, 2000. --
- [45] D.S. Alexandre, J.M.R.S. Tavares, *Fatores da Percepção Visual Humana na Visualização de Dados*, CMNE/CILAMCE, June 13-15, Porto, Portugal, 2007.
- [46] Infopédia, *Infopédia - Dicionário de Língua Portuguesa*, <http://www.infopedia.pt/E2.jsp>, acesso em 12/01/2011
- [47] Oxford, *The New Shorter Oxford English Dictionary*, Vol.2, New York: Oxford University Press, 1999.
- [48] M. Friendly, "Milestones in the history of data visualization: A case study in statistical historiography", In W. Gaul and C. Weihs, eds., *Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization*, New York: Springer, 2004.
- [49] A.M. Vande, "Form Follows Data - The Symbiosis between Design & Information Visualization" in *Proceedings of CAAD futures*, OKK Verlag, Vienna, Austria, pp.31-40, 2005.
- [50] C. Stolte, D. Tang, P. Hanrahan, "Multiscale visualization using data cubes", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **9**(2):176-187, 2003.
- [51] J. Simão, P. Campos, *Sonification of Form and Movement for Visual-Impaired*, DCC-Faculty of Sciences-University of Porto & LIACC, 2007.
- [52] C. Chen, "Top 10 unsolved information visualization problems", *IEEE Computer Graphics and Applications*, **25**(4):12-16, 2005.
- [53] R. Kosara, S. Miksch, H. Hauser, "Semantic Depth of Field", *Proc. IEEE Symposium on Information Visualization*, San Diego, CA, pp. 97-104, 2001.
- [54] C.G. Healey, L.G. Tateosian, B.M. Dennis, "Stevens Dot Patterns for 2D Flow Visualization", In *Third International Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, Boston, 2006.
- [55] D.H. House, A.S. Blair, C. Ware, "An Approach to the Perceptual Optimization of Complex Visualizations", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **12**(4):509-521, 2006.
- [56] C.G. Healy, "Fundamental Issues of Visual Perception for Effective Image Generation" In *SIGGRAPH 99 Course 6: Fundamental Issues of Visual Perception for Effective Image Generation*, Los Angeles, pp. 1-42, 1999.
- [57] R.B. Haber, D.A. McNabb, "Visualization Idioms: A conceptual model for scientific visualization systems", *Visualization in Scientific Computing*, pp. 74-93, 1990.
- [58] E.H. Chi, J.T. Riedl, "An Operator Interaction Framework for Visualization Spreadsheets", In *Proceedings of IEEE Information Visualization Symposium*, 1998.
- [59] C. Freitas, O. Chubachi, P. Luzzardi, R. Cava, "Introdução à Visualização de Informações", *RITA*, **8** (2):143-158, 2001.
- [60] M.C. Chuah, S.G. Eick, "Information Rich Glyphs for Software Management Data", *IEEE Computer Graphics and Applications*, **18**(4):24-29, 1998.
- [61] J.D. Mackinlay, G.G. Robertson, S.K. Card, "The Perspective Wall: Detail and Context Smoothly Integrated", *Proceedings of ACM CHI'91*, pp. 173-179, 1991.

- [62] G.W. Furnas, "The FishEye View: A New Look at Structured Files", Murray Hill, NJ: AT&T Bell Laboratories, Reprinted in S.K. Card; J.D. Mackinlay; B. Shneiderman (eds.) *Readings in Information Visualization - Using Vision to Think*, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, pp. 312-330, 1999.
- [63] R. Spence, M.D. Apperley, "Data Base Navigation: An Office Environment for the Professional", *Behaviour and Information Technology*, **1**(1):43-54, 1982.
- [64] G. Robertson, S. Card, J. Mackinlay, "Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information", *Proceedings of ACM CHI '91*, pp. 189-194, 1991.
- [65] B. Johnson, B. Shneiderman, "TreeMaps: A space - filling approach to the visualization of hierarchical information structures", *Proceedings of IEEE Visualization*, San Diego, pp. 284-291, 1991.
- [66] K. Andrews, H. Heidegger, "Information Slices: Visualization and Exploring Large Hierarchies using Cascading, Semi-Circular Discs", *Proceedings IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis'98)*, 1998.
- [67] J. Stasko, E. Zhang, "Focus+Context Display and Navigation Techniques for Enhancing Radial, Space-Filling Hierarchy Visualizations", *Proceedings of IEEE Information Visualization*, San Francisco, California, pp. 57-65, 2000.
- [68] I. Herman, G. Melançon, M.S. Marshall, "Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: A Survey", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **6**(1):24-42, 2000.
- [69] J. Lamping, R. Rao, "The hyperbolic browser: a focus+context technique for visualizing large hierarchies", *Journal of Visual Languages and Computing*, **7**(1):33-55, 1996.
- [70] T. Munzner, "H3: Laying Out Large Directed Graphs in 3D Hyperbolic Space", In *Proceedings of the IEEE Information Visualization Symposium*, pp 2-10, 1997.
- [71] R.A. Cava, C.M.D.S. Freitas, "Node-Edge Diagram Layout for Displaying Hierarchies", *Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens*, Santa Catarina, 2001.
- [72] E.R. Tufte, *The Visual Display of Quantitative Information*, Graphics Press, 1983.
- [73] M. Tory, T. Möller, "Human Factors In Visualization Research", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **10**(1):10-12, 2004.