



Psicologia: Reflexão e Crítica

ISSN: 0102-7972

prcrev@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Brasil

Santos, Natanael Antonio dos; Simas de Bustamante, Maria Lúcia  
Percepção e Processamento Visual da Forma: Discutindo Modelos Teóricos Atuais  
Psicologia: Reflexão e Crítica, vol. 14, núm. 1, 2001, pp. 157-166  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18814113>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## **Percepção e Processamento Visual da Forma Discutindo Modelos Teóricos Atuais**

*Natanael Antonio dos Santos  
Maria Lúcia de Bustamante Simas<sup>1,2</sup>  
Universidade Federal de Pernambuco*

---

### **Resumo**

Este trabalho discute alguns aspectos teóricos sobre os modelos detector de características e análise de frequência espacial em cinco seções. A primeira mostra uma breve história e a idéia básica de cada modelo. A segunda mostra evidências neurofisiológicas sobre a seletividade à frequência espacial. A terceira, a quarta e a quinta mostram aspectos destes modelos: frequência espacial *versus* detectores de características, filtragem local *versus* global e linear *versus* não-linear, respectivamente. Um dos objetivos deste trabalho foi discutir tópicos importantes do processamento visual da forma.

*Palavras-chave:* Visão espacial; percepção visual da forma; processamento visual; detector de características

**Perception and Visual Processing of Form: Discussing Contemporary Models**

### **Abstract**

This work discusses some aspects about feature detectors and spatial frequency analysis models in five sections. The first section shows briefly historical aspects and the basic rationale idea of each model. The second section shows neurophysiological evidences about spatial frequency selectivity. The third, the fourth and the fifth sections show aspects about these models: spatial frequency versus feature detectors, global versus local filtering and linear versus non-linear spatial processing, respectively. One of the goals of this paper is to discuss important aspects about the visual processing of form.

*Keywords:* Spatial vision; visual perception of forms; spatial processing; feature detectors; spatial frequency analysis

---

### **Processamento Visual da Forma: Alguns Modelos**

Em percepção visual da forma, o reconhecimento de cenas visuais ou padrões é um processo fundamental. A idéia da decomposição de objeto complexo dentro de subunidades elementares e o fato de que cada célula individual da via retina-genículo-estriado (via de condução que vai da retina ao córtex visual estriado passando pelo núcleo geniculado lateral) poder responder apenas a certos atributos da imagem levaram vários pesquisadores

modelos teóricos que podem ser divididos em: modelo de detectores de características simples e modelo de canais mistos.

O modelo de detectores de características simples (linhas, bordas e quinas com ângulos naturais que compõem os objetos) divide-se em modelo de canal simples e o de canais mistos. A propriedade de linearidade é uma característica essencial do sistema. Logo, os resultados obtidos

conectados e formarão posteriormente representações corticais de padrões mais e mais complexos nas áreas superiores.

O modelo de detectores de características teve sua origem no estudo clássico de campo receptivo de células do córtex estriado de gato e macaco (Hubel & Wiesel, 1962, 1968). Os achados de Hubel e Wiesel mostraram que as células da área 17 do gato respondem preferencialmente ou exclusivamente para estímulos espaciais com certas estruturas. Em outras palavras, estas células tinham preferência para orientação espacial e pareciam responder melhor a linha clara ou escura de largura específica, assim como a bordas de larguras específicas em diversas orientações espaciais. Campo receptivo da célula é a área da retina que quando estimulada provoca uma resposta da célula que pode ser observada através de registo unitário.

O modelo de detectores de características também é referenciado na literatura como modelo hierárquico ou serial, visto que Hubel e Wiesel (1962) propuseram um modelo de conexão com ordem crescente de especificidade dos campos receptivos, de forma que as células do núcleo geniculado lateral passariam informações às células simples, destas para as células complexas e destas para as células hipercomplexas dos tipos I e II, no córtex visual.

Os achados de Hubel e Wiesel (1962, 1968) foram valiosos para os pesquisadores interessados em processamento visual de forma. A existência no córtex de mamíferos de células que pareciam extrair informações de tais características, e até mesmo de características mais complexas, foi um grande impulso na área de percepção visual da forma.

Alguns trabalhos psicofísicos também argumentam na direção de detectores de bordas e quinas (King-Smith & Kulikowski, 1975; Kulikowski & King-Smith, 1973; Shapley & Tolhurst, 1973). Eles mediram a sensibilidade para barras e bordas superpostas sobre barras ou grades reticulares. O resultado é que a sensibilidade para

O termo “canal simples” está relacionado ao modelo de detectores de características, que os métodos iniciais, que aplicavam a um sistema como filtro único (DePalma & Lowry, 1961; Schade, 1948). De acordo com Braddick, Campbell (1978), o modelo de canal simples consiste em um filtro espacial cujas características são definidas pela função de transferência de modulação de saída deste sistema é a versão filtrada da entrada, por exemplo, uma onda espacial. Na verdade, a abordagem de canal simples é uma metodologia para obtenção de um cálculo matemático da maneira pela qual o sistema atenua a informação (Simas, 1985). Entretanto, este modelo se restringe a produzir cálculos matemáticos das características do sistema de resposta ao contraste de diferentes freqüências.

A importância desse modelo reside na capacidade de prever respostas para estímulos visuais complexos, baseadas em respostas preditas a partir de respostas para estímulos de freqüências espaciais elementares através de Fourier. O poder preditivo talvez tenha sido a razão para se propor tal modelo (Campbell & Levinson, 1969a).

Freqüência espacial é o número de ciclos (ou listras claras e escuras) por medida de comprimento de onda. A percepção visual da forma foi considerada por muitos autores, denominado de ciclo por grau de ângulo. Por exemplo, uma freqüência espacial de 10 ciclos por milímetro é composta por uma lista clara e uma escura por grau de ângulo.

### **Modelo de Canais Múltiplos**

Em 1968, Campbell e Robson sugeriram que para grade quadrada seria predito a percepção de forma para grades senoidais. Ou seja, Campbell e Robson observaram que um padrão complexo (como um dente de serra) seria detectado quando a grade quadrada era usada, mas não quando a grade senoidal era usada.

canais de freqüências espaciais múltiplos. De acordo com este modelo, o sistema visual decompõe o estímulo complexo em seus componentes elementares (ondas senoidais ou cossenoidais), um tipo de análise de Fourier.

Análise de Fourier é a decomposição de qualquer forma de onda complexa ou arbitrária em ondas senoidais e/ou cossenoidais. Enquanto o processo inverso, síntese é a composição de qualquer estímulo complexo pela soma de ondas senoidais e/ou cossenoidais. Neste sentido, uma onda quadrada, por exemplo, de freqüência fundamental  $f$ , é obtida pela soma de todos os harmônicos ímpares inteiros de  $f$ . Isto é,  $f + 3f + 5f + 7f + \dots + nf$ , onde  $f$  seria a freqüência fundamental e as outras freqüências seriam os harmônicos ímpares da fundamental.

## Seletividade à Freqüência Espacial

O modelo de canais múltiplos assume que cada faixa estreita de freqüência espacial é conduzida por um canal independente e a função de sensibilidade ao contraste (*Contrast Sensitivity Function* ou CSF) ou a função de transferência de modulação (*Modulation Transfer Function* ou MTF) é o envelope da sensibilidade para a série total de canais separados, cada um sensível a uma região restrita do espectro (Braddick e colaboradores, 1978; Graham & Nachmias, 1971). Em 1974, Sekuler afirmou que se cada um desses canais fosse estimado independentemente teríamos de forma genérica um modelo de canais múltiplos no processamento visual de forma.

Do ponto de vista comportamental ou psicofísico, um canal seria, por exemplo, um filtro com estrutura independente no sistema, que lida com uma faixa estreita de freqüência espacial. Já do ponto de vista fisiológico, um canal significa uma população de neurônios sintonizados para uma faixa estreita de freqüência espacial. Consequentemente, as técnicas fisiológicas podem caracterizar a resposta de um elemento particular do sistema visual, enquanto os paradigmas psicofísicos lidam necessariamente com a resposta do sistema como um

Braddick e colaboradores, 1971; 1980, 1988; Menees, 1998; Seiden & Maffei, Rovamo & De Valois, 1970. O fenômeno de adaptação foi interpretado como uma alteração na percepção e processamento visual que resulta em uma nova técnica capaz de estimar a largura de campo de visão a partir das freqüências espaciais. O uso da adaptação óptica baseia na aceitação de que a sensibilidade de contraste é uma medida da excitação do mecanismo de adaptação. A sensibilidade à freqüência da grade de teste depende da freqüência da grade adaptativa. As freqüências espaciais são suficientemente intensas para serem transmitidas através da rede visual independentemente de se uma freqüência adaptativa ou de outra freqüência espacial estiver presente. As freqüências adaptativas estão interagindo de alguma forma com o mecanismo de adaptação. O fenômeno de adaptação seleciona as freqüências espaciais de acordo com um modelo de filtro para controlar os mecanismos seletivos a freqüências espaciais.

Uns dos primeiros e mais favoráveis à existência de canais limitada de freqüência espalhados, Blakemore e Campbell (1969) sugeriram que a adaptação seletiva, Blakemore e Campbell (1969) sugeriram que a adaptação a grade senoidal próxima a freqüência do trabalho, eles também investigaram o harmônico ( $3f$ ) e encontraram suporte à hipótese de filtragem. Isto é, Blakemore e Campbell acharam que a adaptação a uma grade fundamental  $f$  de tal grade que seu harmônico  $3f$ . Com base nisso, estimaram as larguras de banda da ordem de uma oitava e reforçaram a hipótese de canais.

& Oatley, 1972; Wilson e colaboradores, 1990), mascaramento de banda crítica (Abadi & Kulikowski, 1973; Bowen & Wilson, 1994; Dakin & Hess, 1997; De Valois & De Valois, 1988; Levinson & Sekuler, 1975; Olds & Engel, 1998; Polat & Sagi, 1993; Stromeyer e colaboradores, 1982; Wilson e colaboradores, 1990; Wilson, Nagy, Mets & Perrera, 1988), detecção de estímulo (Graham & Nachmias, 1971), métodos dos limites (Ellemborg, Lewis, Liu & Maurer, 1999) e métodos dos estímulos constantes (Peterzell & Teller, 1996).

### **Comentário**

Dentre as correntes de modelos de canais múltiplos, Wilson e colaboradores propuseram um modelo com quatro filtros, o qual foi estendido mais tarde para abranger seis filtros (Wilson & Gelb, 1994; Wilson, 1983; Wilson, McFarlane & Phillips, 1983). Dois desses, tendo pico de sensibilidade por volta de 0,75 e 1,5 cpg, cobrem freqüências baixas até cerca de 4 cpg. Os outros quatro filtros, tendo pico de sensibilidade em 2,8; 4,4; 8,0; e 16 cpg, cobrem freqüências altas, até 32 cpg. Peterzell e Teller (1996), estudando recém-nascidos, obtiveram dados consistentes com a hipótese de dois canais com pico de sensibilidade abaixo de 1 cpg. Existem outras correntes de modelos de canais múltiplos (Campbell, Nachmias & Jukes, 1970; Hirsch & Hylton, 1982; Humanski & Wilson, 1993; Regan, Bartol, Murray & Beverley, 1982; Watson & Robson, 1981; Yager & Kramer, 1991). Alguns desses modelos foram discutidos brevemente por Regan e Beverley (1983).

### **Evidências Fisiológicas para Canais Múltiplos de Freqüência Espacial**

Em 1953, Kuffler estudou padrões de descargas e a organização funcional da retina de mamíferos e registrou disparos para células ganglionares do tipo *on-off* ou *off-on*. Posteriormente, Hubel e Wiesel (1962, 1968) demonstraram em gato e macaco, que as células

espacial era praticamente a mesma. A p qual as células têm a mesma preferênc espacial foi denominada de “columna espacial”. Posteriormente, foi dem seletividade variava de célula para célula Valois, Yund & Hepler, 1982b; Schiller, 1976).

Atualmente, as áreas visuais de Brodmann estão sendo funcionalmente referendadas visuais V1, V2-V3 e V4-V5(ou MT) principalmente no macaco (Gallant, C Van Essen, 1998; Kobatake & Tanaka & Newsome, 1996). Entretanto, no caso de gato e outros mamíferos ainda continua extensamente a classificação de Brodm Vickery, 1997; Murphy & Sillito, 1996; S Freeman, Harrad & Blakemore, 1998; T Smyth, Krug & Tolhurst, 1997a; Tho Tolhurst, 1997b).

Logo após os estudos psicofísicos de Campbell, 1969b; Campbell & Robson, Nachmias & Robson, 1971), introduzindo canais múltiplos seletivos à freqüência espacial, eletrofisiológicos de Hubel e Wiesel (1968), mostrando preferência celular à freqüência espacial, notou-se um esforço concentrado de células na retina, no NGL e no córtex visual, dessem suporte inicial aos estudos cognitivos. Neste sentido, surgiram os estudos cognitivos, evidenciando que partes das células respondiam razonavelmente e estreitamente sincronizadas a freqüências espaciais (Campbell, Cooper, Cugell, 1969b; Campbell, Cooper, Rabinowitz, 1969c; Campbell & Maffei, 1974; De Valois, Thorell, 1982a; De Valois & De Valois, 1982b; Albrecht, 1997; Ikeda & Wrigh, 1975; Movshon, Thompson & Tolhurst, 1976; Thompson e colaboradores, 1976; Thompson e colab., 1997b; Tolhurst, 1997c; De Valois &

(Blakemore & Campbell, 1969a; Campbell & Robson, 1968; Sachs e colaboradores, 1971). Oitava é uma alteração na freqüência por um fator de dois. Em outras palavras, oitavas de freqüência espacial são incrementos iguais em uma escala logarítmica (Blakemore e colaboradores, 1970).

Outros estudos merecem destaque particular por mostrarem a existência de organização arquitetural no córtex visual. Por exemplo, Maffei e Fiorentini (1977) estudaram a distribuição de células corticais de gato. Os resultados foram muito sugestivos e mostraram preferência à freqüência espacial na área 17. A arquitetura de células corticais, considerando a preferência por freqüência espacial do estímulo, parecia complementar a orientação espacial do estímulo e vice-versa. Ou seja, em penetrações perpendiculares à superfície do córtex, as células mostraram a mesma preferência por orientação espacial, ao mesmo tempo em que tinham preferência variada por freqüência espacial. Já em penetrações paralelas à superfície do córtex, observou-se o contrário, a preferência por orientação espacial muda de célula para célula, mas a preferência por freqüência espacial continua praticamente invariante. Assim, vieram os primeiros indícios que as células sintonizadas para diferentes faixas de freqüências espaciais podiam estar organizadas em camadas diferentes do córtex como a organização encontrada para orientação (Hubel & Wiesel, 1974). Mais tarde, Silverman (1984) e Tootell e colaboradores (1981), usando a técnica de 2-desoxi-D-glicose (2-DG) no córtex de gato, mostram evidências para organização colunar de freqüências espaciais semelhante àquela encontrada para orientação por Hubel e Wiesel (1974). No trabalho de 1988, De Valois e De Valois apresentaram modelos esquemáticos da organização colunar do gato e macaco. De acordo com os modelos propostos por De Valois e De Valois, em cada região de dominância ocular são arranjadas colunas de células sintonizadas para freqüências espaciais e orientações diferentes, de tal forma que a

mesmas áreas no gato. Isto é, as células sintonizadas para fases

2) As evidências fisiológicas para a organização da fóvea em macaco o pico de respostas de células de fóvea sobre uma faixa de uma oitava de freqüência espacial juntas cobrem aproximadamente 4 oitavas (Campbell e colaboradores, 1968; De Valois & De Valois, 1977; De Valois & Lomber, 1996). As faixas similares são encontrados para as espécies humanas dessas espécies (gato, macaco e homem) e cobrem aproximadamente 4 oitavas de freqüência, sendo que a posição da faixa depende da freqüência.

3) Outro tipo de evidência para a organização da fóvea é a existência de faixas de respostas espaciais baixas, da mesma maneira que as células sintonizadas para freqüências adjacentes (Movshon & Frieder, 1998; Graham, Ross & Movshon, 1998). Esses achados, mais uma vez, fornecem evidências psicofísicas discutíveis para a organização de múltiplos dentro do sistema visual, tanto da fóvea e da periferia. Entre as faixas de respostas, o contraste declina através de camadas de células, dependendo da propriedade de sensibilidade ao contraste declinante de uma função da excentricidade, que é mais alta para freqüências de alta excentricidade (Hess & Hayes, 1994).

### **Filtro de Freqüência Espacial e Características**

Os resultados comportamentais e fisiológicos revisados na seção anterior sugerem que o sistema visual possui os atributos necessários para processar a freqüência espacial da informação visual, apoiando esta conclusão, estudo de fóvea e periferia.

visto monocularmente quando as duas grades eram sobrepostas fisicamente. Concluiu-se com esse experimento que a informação sobre amplitude e fase dos dois estímulos senoidais apresentados separadamente aos dois olhos pode ser sintetizada pelo sistema visual.

Existem outros resultados mostrando que, na área 18 do córtex do gato, algumas células complexas respondem melhor para grades do que para qualquer outro estímulo visual (Glezer, Ivanoff & Tscherbach, 1973; Pollen & Ronner, 1975).

Em resumo, o peso das evidências psicofisiológicas, fisiológicas e anatômicas em favor de freqüência espacial não exclui a possibilidade de que filtros de freqüências espaciais possam coexistir em harmonia com certas famílias de detectores especializados de características. Por exemplo, Maffei (1978) argumentou que é razoável e talvez econômico para o sistema nervoso desenvolver um sistema especializado para aquelas características pertinentes à vida do animal. Entretanto, até o momento, não se definiram quais seriam essas características pertinentes e nem como estudar a infinidade de características que podem existir. Na verdade, os estudos nesta direção ainda são escassos e difíceis de serem replicados. Ainda assim, mesmo existindo poucas evidências na direção de detectores de características no sistema visual e uma grande quantidade de evidências a favor de análise de freqüência espacial, esta última não inviabiliza a existência de detectores de características. O modelo de Marr (1976), por exemplo, postula filtragem de freqüência espacial como um estágio preliminar de um sistema detector de características como por exemplo, barras. Só que, se existem detectores de características, eles possivelmente estariam além da área 17 ou V1, depois de um estágio de filtragem de freqüência espacial, pois a detecção de bordas é um problema complicado e envolve possivelmente tipos de células diferentes das encontradas no córtex estriado (De Valois & De Valois, 1980, 1988). Por outro lado, Georgeson e Meese (1997) mencionam

colaboradores, 1971; Pollen & Ronner, 1975). A análise local considera a análise sob a extensão convencionais do campo receptivo, o que leva a algo entre alguns minutos de arco a um dia, dependendo da sintonia espacial da célula. A análise global, por outro lado, considera que a informação é obtida por uma análise de Fourier através de uma representação de todo campo visual ao invés de uma pequena parte dele (Pollen & Ronner, 1975; Pollen & colaboradores, 1971). Vejamos a seguir a diferença entre a análise local versus global e para isso, vamos, por exemplo, De Valois e De Valois (1980).

A análise local tem como base: 1) o campo receptivo é infinito, ele é localizado em nível de pixels; 2) os objetos geralmente são formados por freqüências espaciais altas, por exemplo, textura; 3) a análise local tem se destacado na análise do sistema visual (De Valois & De Valois, 1980; De Valois & De Valois, 1984; Geri, Lyon & Zeevi, 1995; Gegenfurtner, Venkatesan, 1993; Hess & Wilcox, 1998; Hess, Wilcox & Gegenfurtner, 1998). Um aspecto importante da função de resposta é que a análise local é realizada por um filtro de freqüência localizado em envelamento. O resultado é como ondas senoidais e cossenoideais que fornecem uma descrição completa e precisa da forma de onda complexa (Helstrom, 1968).

A análise global tem como base: 1) a informação é em princípio um processo global. O resultado é uma representação de Fourier para uma determinada freqüência espacial, cuja orientação é determinada pela forma da figura; 2) a orientação é estendida infinitamente no espaço visual; 3) a análise global pode ser aplicada em qualquer nível de processamento visual, pois mesmo o espaço visual não sendo global, é global; 4) a análise global é realizada segundo De Valois e De Valois (1980), que estende a 200 graus ou mais; 5) a análise global é realizada para estímulos visuais com alta periodicidade, por exemplo, grades senoidais, freqüências radiais, angulares, etc.; 4) a abordagem de Fourier é utilizada para a análise ou a síntese de qualquer estímulo visual, levando em consideração a freqüência e a orientação; 5) dados obtidos com padrões de freqüências radiais, angulares e hipérboles não podem ser usados para a análise de estímulos visuais.

de padrão em questão (periódico, aperiódico ou com pouca periodicidade). No caso de quem tem interesse em estudar e caracterizar a resposta do sistema visual para padrões de freqüências espaciais baixas, médias e altas com alta periodicidade; a análise de Fourier ou o modelo de canais múltiplos focalizando aspectos globais pode ser fundamental, considerando os modelos de canais múltiplos vigentes até o momento.

#### **Processamento Espacial Linear *versus* Não-Linear**

Em 1966, Enroth-Cugell e Robson descreveram duas classes de células ganglionares na retina, as quais denominaram de células X e células Y. A célula X com campo receptivo pequeno mostrou somação espacial linear e a célula Y com campo receptivo maior não mostrou somação espacial linear (De Valois e colaboradores, 1982a; Enroth-Cugell & Robson, 1966). Então, é possível que existam duas grandes vias no sistema visual, uma onde a linearidade ou a presença de somação linear em sub-regiões de seus campos receptivos é relevante para o processamento espacial – formada pelas células X da retina, NGL, células corticais simples, e outra onde a linearidade ou somação não é relevante para o processamento espacial – formada pelas células Y da retina, do NGL e células corticais complexas (De Valois e colaboradores, 1982a; De Valois & De Valois 1988; Zhou & Baker, 1996). A denominação de células X e Y é específica para o gato; no caso de macacos e humanos, o sistema que envolve as células com propriedades semelhantes as células X e Y recebem as denominações de sistema parvocelular e magnocelular, respectivamente. Sistema linear é aquele cuja resposta é proporcional ao estímulo, ou seja, aumentando-se a intensidade de luminância, aumenta-se a intensidade da imagem na mesma proporção.

#### **Comentário**

A aplicação da análise de sistema linear em visão, à princípio, parece ser uma tarefa trivial, já que a visão

Foram relatados acima vários e métodos diferentes que misturam psicofísicos e neurofisiológicos forma para um dado modelo de canais múltiplos e filtragem espacial linear. Por sua vez, a não-linear é uma denominação cognitivos de reconhecimento que aqueles que enfatizam o papel da visão para baixo ou *top-down* (Olds & Wilkinson, 1997).

Em resumo, os modelos teoricamente diferem de várias teorias clássicas em percepção visual, como a teoria da *Gestalt*, que se funda na organização de figura e fundo, fechamento, continuidade, simetria, entre outros. O processamento visual é geralmente ocorre de cima para baixo, ou seja, é característico da perspectiva da teoria da percepção visual da forma como é gerada das representações mentais. As teorias discutidas neste trabalho defendem que a percepção visual da forma, que é sintetizada a partir das informações que chegam à retina, isto é, processamento visual de baixo para cima ou *bottom-up* (modelos de processamento visual comportamentais).

#### **Considerações Finais**

Um modelo, na maioria das vezes, é uma combinação de matemática que nasce com suas hipóteses e que só quando um modelo vier simular fiduciariamente um sistema biológico (p.ex. sistema visual) é que o modelo é aceito. Se o modelo é rejeitado, ele é modificado e passa a ser o próprio modelo. Se o modelo é aceito, ele é considerado válido e útil, mesmo que difícil se não impossível produzir um sistema biológico que o imita.

Um sistema de camuflagem perfeito deveria leva em consideração o processamento *bottom-up* (modelo de canais múltiplos) e *top-down* (cognição). *Bottom-up* porque teria que filtrar as freqüências espaciais baixas, médias e altas. Uma vez que os canais para as freqüências espaciais baixas dão o formato geral do objeto, já os canais para as freqüências espaciais médias dão o formato que se assemelha ao objeto final, enquanto que os canais para as freqüências espaciais altas são responsáveis pelos detalhes finos (preenchimento das quinas ou os contornos). Lembre-se que todo esse processamento se iniciaria na retina onde existe grupo de receptores (cones e bastonetes) com sensibilidade discreta para brilho e contraste. *Top-down* porque teria que levar em consideração, também, o contexto onde o veículo ou o helicóptero de guerra seria camuflado, pois a experiência do observador poderia denunciar a “casa-mata”.

A percepção e processamento visual da forma são processos dinâmicos e contínuos e podem envolver tanto um processamento de baixo para cima ou *bottom-up* como um processamento de cima para baixo ou *top-down*. Assim, dependendo da experiência é difícil dizer onde um começa e o outro termina.

Neste contexto, no estudo da percepção visual de forma, existem inúmeros modelos além desses que destacamos neste artigo. Entretanto os três modelos focalizados estão dentro, ou assemelhado, ao âmbito das pesquisas conduzidas em nosso laboratório.

## Referências

- Abadi, R.V. & Kulikowski, J.J. (1973). Linear summation of spatial harmonics in human vision. *Vision Research*, 13, 1625-1628.
- Blakemore, C. & Campbell, F. C. (1969a). Adaptation to spatial stimuli. *Journal of Physiology*, 200, 11-12.
- Blakemore, C. & Campbell, F. C. (1969b). On the existence of neurons in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. *Journal of Physiology*, 203, 237-260.
- Blakemore, C., Nachmias, J. & Sutton, P. (1970). The perceived spatial frequency selective neurones in the human brain. *Journal of Physiology*, 209, 737-750.

- Campbell, F. W., Cooper, G. F., Robson, J. G. & Sadler, M. (1968). The spatial selectivity of cells of the cat and the squirrel monkey. *Journal of Physiology*, 204, 120-121.
- Campbell, F. W. & Maffei, L. (1974). Contrast and spatial frequency selectivity in the macaque monkey. *Journal of the Optical Society of America*, 231, 106-114.
- Campbell, F. W., Nachmias, J. & Jukes, J. (1970). Spatial frequency selectivity in human vision. *Journal of the Optical Society of America*, 60, 559.
- Campbell, F. W. & Robson, F. G. (1968). Application of the Gabor function to the visibility of gratings. *Journal of Physiology*, 196, 81-94.
- Carrasco, M., Melean, T. L., Katz, S. M. & Friedman, D. (1992). Effects of display size and eccentricity on the detection of stimulus asymmetries in visual search: Effects of display size, eccentricity, orientation and spatial frequency. *Journal of Vision Research*, 32, 347-374.
- Dakin, S. C. & Hess, R. F. (1997). The spatial organization of the visual system: Evidence from spatial symmetry perception. *Vision Research*, 37(20), 3371-3382.
- Daugman, J. G. (1984). Spatial visual channels in the macaque monkey. *Vision Research*, 24(9), 891-910.
- De Valois, R. L., Albrecht, D. G. & Thorell, L. G. (1982). Spatial contrast selectivity of LGN and cortical cells in monkey visual system. In L. H. van der Tweel (Orgs.), *Spatial Contrast* (pp. 1-12). North Holland.
- De Valois, R. L., Albrecht, D. G. & Thorell, L. G. (1983). Spatial frequency selectivity of cells in macaque visual cortex. *Vision Research*, 23, 559.
- De Valois, R. L. & De Valois, K. K. (1980). Spatial vision. In R. L. De Valois & K. K. De Valois (Eds.), *Visual Psychophysics*, 31, 309-341.
- De Valois, R. L. & De Valois, K. K. (1988). *Spatial vision*. Oxford University Press.
- De Valois, R. L., Yund, E. W. & Hepler, N. (1982b). Directional selectivity of cells in macaque visual cortex. *Vision Research*, 22, 531-544.
- DePalma, J. J. & Lowry, E. M. (1962). Sine-wave sensitivity of the macaque monkey visual system. II Sine-wave and square sensitivity. *Journal of the Acoustical Society of America*, 52, 328-335.
- Ellemberg, D., Lewis, T. L., Liu, C. H. & Maurer, D. (1997). Development of spatial and temporal vision during childhood. *Journal of Vision Research*, 37, 2325-2333.
- Enroth-Cugell, C. & Robson, J. M. (1966). The contrast sensitivity of the macaque cortical ganglion cells of the cat. *Journal of Physiology*, 187, 511-528.
- Gallant, J. L., Connor, C. E. & Van Essen, D. C. (1996). Selective adaptation to controlled viewing. *NeuroReport*, 9, 1673-1677.
- Geisler, W. S. & Albrecht, D. G. (1997). Visual cortex and cats: Detection, discrimination, and integration. *Journal of Neuroscience*, 14, 897-919.
- Georgeson, M. A. & Meese, T. S. (1997). Perception of faces: The role of spatial filters in edge analysis. *Journal of Vision Research*, 37, 3255-3271.
- Geri, G. A., Lyon, D. R. & Zeevi, Y. Y. (1995). Prewhitening of multicomponent Gabor textures in the central visual field. *Journal of Vision Research*, 35, 101-112.

- Gray, R. & Regan, D. (1998). Spatial frequency discrimination and detection characteristics for gratings defined by orientation texture. *Vision Research*, 38, 2601-2617.
- Helstrom, C. W. (1966). An expansion of a signal in Gaussian elementary signals. *IEEE Trans. Inf. Theory*, IT-13, 81-82.
- Hess, R. F. & Hayes, A. (1994). The coding of spatial position by human visual system: Effects of spatial scale and retinal eccentricity. *Vision Research*, 34, 625-643.
- Hess, R. F. & Wilcox, L. M. (1994). Linear and non-linear filtering stereopsis. *Vision Research*, 34, 2431-2438.
- Hirsch, J. & Hylton, R. (1982). Limits of spatial frequency discrimination as evidence of neural interpolation. *Journal of the Optical Society of America*, 72, 1367-1374.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, 148, 574-591.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, 160, 106-154.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1965). Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat. *Journal of Neurophysiology*, 28, 229-289.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, 195, 215-243.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1974). Sequence regularity and geometry of orientation columns in the monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, 158, 267-294.
- Humanski, R. A. & Wilson, H. R. (1993). Spatial-frequency adaptation: Evidence for a multiple-channel model of short-wavelength-sensitive-cone spatial vision. *Vision Research*, 33, 665-675.
- Ikeda, H. & Wright, M. J. (1975). Spatial and temporal properties of "sustained" and "transient" neurones in area 17 of the cat's visual cortex. *Experimental Brain Research*, 22, 363-383.
- Jones, R. M. & Tulinay-Keesey, U. (1975). Local retinal adaptation and spatial frequency channels. *Vision Research*, 15, 1239-1244.
- King-Smith, P. E. & Kulikowski, J. J. (1975). The detection of gratings by independent activation of line detectors. *Journal of Physiology*, 245, 237-271.
- Kobatake, E. & Tanaka, K. (1994). Neuronal selectivities to complex object features in the ventral visual pathway of the macaque cerebral cortex. *Journal of Neurophysiology*, 71(3), 856-867.
- Kuffler, S. W. (1953). Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. *Journal of Neurophysiology*, 16, 37-68.
- Kulikowski, J. J. & King-Smith, P. E. (1973). Spatial arrangement of line, edge and grating detectors released by sub-threshold summation. *Vision Research*, 13, 1455-1478.
- Levinson, E. & Sekuler, R. (1975). The independence of channels in human vision selective for direction of movement. *Journal of Physiology*, 250, 347-366.
- Lowry, E. M. & DePalma, J. J. (1961). Sine-wave response of the visual system. I. The Mach Phenomenon. *Journal of the Optical Society of America*, 51, 100-106.
- Morley, J. W. & Vickery, R. M. (1997). Selectivity of cells in area 21a of the cat's striate cortex. *The Journal of Neuroscience*, 17(23), 7715-7722.
- Movshon, J. A., Thompson, I. D. & Tolhurst, D. J. (1985). Temporal contrast sensitivity of neurons in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, 361, 241-258.
- Murphy, P. C. & Sillito, A. M. (1996). Single axons from visual cortical area 17 project to the nucleus of the cat. *Journal of Physiology*, 493, 111-122.
- Olds, E. S. & Engel, S. A. (1998). Lateral inhibition in the cat's visual system. *Science*, 162, 1146-1148.
- Pantle, A. & Sekuler, R. (1968). Size dependence of the receptive field size. *Science*, 162, 1146-1148.
- Peterzell, D. H. & Teller, D. Y. (1996). The lowest sensitivity functions: The lowest threshold. *Journal of Vision Research*, 36, 3077-3085.
- Polat, U. & Sagi, D. (1993). Lateral inhibition and facilitation revealed in the cat's visual system. *Vision Research*, 33, 993-999.
- Pollen, D. A., Lee, J. R. & Taylor, J. H. (1975). The receptive fields of complex cells in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, 250, 347-366.
- Pollen, D. A. & Ronner, S. F. (1975). The receptive fields of complex cells in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, 250, 347-366.
- Regan, D., Bartol, S., Murray, T. J. & Beverley, K. I. (1983). Spatial frequency discrimination in normal vision and macular degeneration. *Brain*, 105, 735-754.
- Regan, D. & Beverley, K. I. (1983). Spatial frequency detection: comparison of postdictive and predictive mechanisms. *Journal of the Optical Society of America*, 73, 1684-1692.
- Robson, J. G. (1975). Receptive fields: Nonlinearities and intensive attributes of the visual system. In P. Fridman (Orgs.), *Handbook of Psychophysics*. New York: Academic Press.
- Sachs, M. B., Nachmias, J. & Robson, J. G. (1983). The role of the macaque visual system in human vision. *Journal of the Optical Society of America*, 73, 1684-1692.
- Schade, O. H. (1948). Electro-optical characteristics of the eye. In O. H. Schade, O. H. (1956). Optical and photophysical properties of the eye. In *Handbook of Psychophysics*. New York: Academic Press.
- Schade, O. H. (1956). Optical and photophysical properties of the eye. In *Handbook of Psychophysics*. New York: Academic Press.
- Schiller, P. H., Finlay, B. L. & Volman, J. (1998). Single-cell properties in monkey visual cortex: specificity and ocular dominance. *Journal of Neurophysiology*, 79, 1333-1345.
- Sekuler, R. (1974). Spatial Vision. *Annu Rev of Psychology*, 25, 457-502.
- Sengpiel, F., Baddeley, R. J., Freeman, T. P. & Cowey, A. (1998). Different mechanisms underlie the sine-wave responses of cells in cat area 17. *Vision Research*, 38, 2915-2925.

- Thompson, I. D., Baker, G. E., Smyth, D., Krug, K. & Tolhurst, D. J. (1997a). Spatial-frequency tuning of neurons in area 17 and area 18 of the anaesthetized ferret. *Journal of Physiology*, 501, 120.
- Thompson, I. D., Krug, K. & Tolhurst, D. J. (1997b). The spatial frequency tuning of neurons in area 17 of the anaesthetized ferret. *Journal of Physiology*, 499, 86.
- Tolhurst, D. J. (1972). Adaptation to square-wave gratings: Inhibition between spatial frequency channels in the human visual system. *Journal of Physiology*, 226, 231-248.
- Tootell, R. B., Silverman, M. S. & De Valois, R. L. (1981). Spatial frequency columns in primary visual cortex. *Science*, 214, 813-815.
- Watson, A. B. & Robson, J. G. (1981). Discrimination at threshold: Labeled detectors in human vision. *Vision Research*, 21, 1115-1122.
- Westheimer, G. (1998). Lines and Gabor functions compared as spatial visual stimuli. *Vision Research*, 38(4), 487-491.
- Wilkinson, F., Wilson, H. R. & Habak, C. (1998). Detection and recognition of radial frequency patterns. *Vision Research*, 38, 3555-3568.
- Wilson, H. R. (1983). *Psychophysical evidence for spatial channels*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Wilson, H. R. & Gelb, D. J. (1984). Modified line element theory for spatial frequency and width discrimination. *Journal of the Optical Society of America A*, 1, 124-131.
- Wilson, H. R., Levi, D., Maffei, L., Rovamo, J. & De Valois, R. (1990). The perception of form: Retina to striate cortex. Em S. W. Spillmann & J. S. Werner (Orgs.), *Visual perception: The Neurophysiological Foundation* (pp. 231-271). New York: Academic Press.
- Wilson, H. R., McFarlane, D. H. & Phillips, G. C. (1991). Tuning of orientation selective units estimated from psychophysical data. *Vision Research*, 23, 873-882.
- Wilson, H. R., Nagy, S. E., Mets, M. B. & Perrera, V. (1994). Frequency and orientation tuning of spatial vision in human albinos. *Vision Research*, 28, 991-999.
- Wilson, H. R., & Wilkinson, F. (1997). Evolving concepts in vision: From independence to nonlinear interactions. *Vision Research*, 26, 939-960.
- Wilson, H. R. & Wilkinson, F. (1998). Detection of tilted square-wave gratings: Implications for form vision. *Vision Research*, 38, 2947.
- Yager, D. & Kramer, P. (1991). A model for perception of orientation and spatial frequency discrimination. *Vision Research*, 31, 101-112.
- Zhou, Y. & Baker, C. L. J. (1996). Spatial properties of orientation selective cells in area 17 and 18 neurons of the cat. *Vision Research*, 36, 75(3), 1038-1050.

Sobre os autores:

**Natanael Antonio dos Santos** é Doutor em Neurociências e Comportamento pelo Instituto em Psicologia Experimental da Universidade de São Paulo (1999). Pesquisador do CNPq, Bolsa DCR, Laboratório de Percepção Visual, Departamento de Psicologia - UFPE. Linha de Pesquisa: Percepção e processamento visual da forma em crianças normais e desnutridas, adultos e idosos.

**Maria Lúcia de Bustamante Simas** é Doutora em Psicologia pela Queen's University, Ontario, Canadá (1985). Profª. Adjunta do Departamento de Psicologia da UFPE. Coordenadora do Laboratório de Percepção visual — Lab. Vis. Bolsista do CNPq. Linha de Pesquisa: Percepção e Processamento Visual da Forma.