



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^{1 2}
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 teóricos destes modelos: frequência espacial *versus* detectores de características, filtragem local *versus* global e processamento linear *versus* não-linear, respectivamente. Um dos objetivos deste trabalho foi discutir tópicos importantes sobre o 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 describes 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 discuss theoretical aspects about these models: spatial frequency versus feature detectors, global versus local filtering and linear versus non-linear 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 de 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 classificados em modelo de detectores de características simples e modelo de canais múltiplos.

O modelo de detectores de características considera que linhas, bordas e quinas com determinadas frequências naturais que compõem os objetos são os atributos de canal simples e o de canais múltiplos a propriedade de linearidade é uma característica essencial do sistema. Logo, o modelo de detectores

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

O termo “canal simples” está relacionado com os métodos iniciais, que aplicavam a este sistema como filtro único (DePalma, 1948; Lowry & DePalma, 1961; Schade, 1948). De acordo com Braddick, Campbell & Sagi (1978), o modelo de canal simples pode ser considerado como um filtro espacial cujas características são determinadas pela função de transferência de modulação. A 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 modelo matemático da maneira pela qual o sistema visual recebe e atenua a informação (Simas, 1985). Em este modelo se restringe a produção de respostas matemáticas das características do sistema de resposta ao contraste de diferentes frequências.

A importância desse modelo reside na possibilidade de respostas para estímulos visuais complexos serem previstas a partir de respostas para estímulos de frequências espaciais elementares através da análise de Fourier. O poder preditivo talvez tenha sido a razão para se propor tal modelo (Campbell & Levinson, 1969a).

Frequência espacial é o número de ciclos por grau ou listras claras e escuras por medida de comprimento. A percepção visual da forma foi considerada como um denominador de ciclo por grau de ângulo. Por exemplo, uma frequência espacial de 1 ciclo por grau de listra clara e uma escura por grau de ângulo.

Modelo de Canais Múltiplos

Em 1968, Campbell e Robson sugeriram que a resposta para grade quadrada seria predito a partir da resposta para grades senoidais. Ou seja, Campbell e Robson observaram que um padrão complexo (como uma grade ou dente de serra) seria detectado quando a resposta para grades senoidais de diferentes frequências

canais de frequências 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 frequência 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 frequência fundamental e as outras frequências seriam os harmônicos ímpares da fundamental.

Seletividade à Frequência Espacial

O modelo de canais múltiplos assume que cada faixa estreita de frequência 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 frequência espacial. Já do ponto de vista fisiológico, um canal significa uma população de neurônios sintonizados para uma faixa estreita de frequência 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, 1978; Braddick, 1980, 1988; Menees, 1998; Sekuler & Maffei, 1973; Maffei, Rovamo & De Valois, 1977). O fenômeno de adaptação foi investigado na percepção e processamento visual através de uma técnica capaz de estimar a largura de banda das frequências espaciais. O uso de uma escala de frequência baseada na aceitação de que a sensibilidade de contraste é inversamente proporcional à excitação do mecanismo de sensibilidade à frequência espacial. A frequência da grade de teste. As frequências espaciais são suficientes para serem transmitidas através de canais independentes e se uma frequência espacial é alterada de outra frequência espacial, os canais não estão interagindo de alguma forma. O fenômeno de adaptação seletiva à frequência espacial como para orientação espacial, pode ser modelado como um modelo de filtro para cada um dos mecanismos seletivos a frequência espacial.

Uns dos primeiros e mais importantes trabalhos favoráveis à existência de canais múltiplos foi a limitada de frequência espacial de Blakemore e Campbell (1969). Eles descobriram a adaptação seletiva, Blakemore e Campbell (1969) que a adaptação a uma grade senoidal próxima a uma frequência espacial de trabalho, eles também investigaram o harmônico ($3f$) e encontraram um suporte à hipótese de filtragem seletiva. Isto é, Blakemore e Campbell (1969) da adaptação a uma grade senoidal, a sensibilidade ao contraste de uma frequência fundamental f de tal grade que a largura de banda de seu harmônico $3f$. Com base nesse trabalho, eles estimaram as larguras de banda de cada um da ordem de uma oitava e relataram que a adaptação a uma grade senoidal de frequência f não afetava a sensibilidade a uma grade de frequência $3f$.

& 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 (Ellemberg, 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 frequências 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 frequências 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 Frequência 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 partir da qual as células têm a mesma preferência espacial foi denominada de “columna espacial”. Posteriormente, foi demonstrado que a seletividade variava de célula para célula (De Valois, Yund & Hepler, 1982b; Schiller, 1976).

Atualmente, as áreas visuais de Brodmann estão sendo funcionalmente referendadas nas áreas visuais V1, V2-V3 e V4-V5(ou MT) principalmente no macaco (Gallant, 1996; Van Essen, 1998; Kobatake & Tanaka, 1994; & Newsome, 1996). Entretanto, no caso de gato e outros mamíferos ainda contém extensamente a classificação de Brodmann (Vickery, 1997; Murphy & Sillito, 1996; Sillito, Freeman, Harrad & Blakemore, 1998; Teller, Smyth, Krug & Tolhurst, 1997a; Tolhurst, 1997b).

Logo após os estudos psicofísicos de Campbell, 1969b; Campbell & Robson, 1968; Nachmias & Robson, 1971), introduzindo canais múltiplos seletivos à frequência espacial. Os eletrofisiológicos de Hubel e Wiesel (1962, 1968), mostrando preferência celular para frequência espacial, notou-se um esforço concentrado de células na retina, no NGL e no córtex visual dessem suporte inicial aos estudos de Campbell. Neste sentido, surgiram os estudos de Hubel e Wiesel evidenciando que partes das células da retina respondiam razoavelmente e estreitamente sincreticamente a frequências espaciais (Campbell, Cooper, & Cugell, 1969b; Campbell, Cooper, & Cugell, 1969c; Campbell & Maffei, 1974; De Valois & Thorell, 1982a; De Valois & De Valois, 1982b; Albrecht, 1997; Ikeda & Wrigth, 1975; Movshon, 1973; Movshon, Thompson & Tolhurst, 1976; Thompson & Tolhurst, 1976; Thompson & Tolhurst, 1976; Thompson & Tolhurst, 1976; Thompson & Tolhurst, 1976).

(Blakemore & Campbell, 1969a; Campbell & Robson, 1968; Sachs e colaboradores, 1971). Oitava é uma alteração na frequência por um fator de dois. Em outras palavras, oitavas de frequência 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 frequência espacial na área 17. A arquitetura de células corticais, considerando a preferência por frequência 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 frequência 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 frequência espacial continua praticamente invariante. Assim, vieram os primeiros indícios que as células sintonizadas para diferentes faixas de frequências 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 frequências 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 arranjasdas colunas de células sintonizadas para frequências espaciais e orientações diferentes, de tal forma que a

mesmas áreas no gato. Isto é, demonstraram sintonia para f

2) As evidências fisiológicas da fóvea em macaco o pico de sobre uma faixa de uma oitava juntas cobrem aproximadamente (Campbell e colaboradores, 1977; & Thorell, 1977; De Valois & D similares são encontrados para são consideradas juntas (Movsl Neste sentido, parece que o s dessas espécies (gato, macaco o de aproximadamente 4 oitavas sendo que a posição da faia frequência.

3) Outro tipo de evidência área próxima a fóvea são sim espaciais baixas, da mesma sintonizadas para frequências al & Frieder, 1998; Graham, R Esses achados, mais uma vez evidências psicofísicas discutio múltiplos dentro do sistema da fóvea e da periferia. Entr contraste declina através c dependendo da propriedade sensibilidade ao contraste decli uma função da excentricidade mais altas do que para frequê (Hess & Hayes, 1994).

Filtro de Frequência Espacial Características

Os resultados comportam revisados na seção anterior su possui os atributos necessá frequência espacial da informa apoiando esta conclusão, es

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 psicofísicas, fisiológicas e anatômicas em favor de frequência espacial não exclui a possibilidade de que filtros de frequências 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 frequência espacial, esta última não inviabiliza a existência de detectores de características. O modelo de Marr (1976), por exemplo, postula filtragem de frequência 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 frequência 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 espacial convencional do campo receptivo, o que varia de algo entre alguns minutos de arco a um grau, dependendo da sintonia espacial da célula. A análise global, por outro lado, considera que a informação é uma análise de Fourier através de uma amostra de todo o campo visual ao invés de uma pequena amostra (De Valois e colaboradores, 1971). Vejamos a seguir a análise local versus global e para isso vamos usar, por exemplo, De Valois e De Valois (1980).

A análise local tem como base: 1) o campo visual é infinito, ele é localizado em nível de detalhe; 2) os objetos geralmente são formados por frequências espaciais altas, por exemplo, textura; 3) a análise local tem se destacado na análise do sistema visual (De Valois, 1984; Geri, Lyon & Zeevi, 1995; Gross, 1995; Venkatesan, 1993; Hess & Wilcox, 1998). Um aspecto importante da análise local é que os filtros (filtros de frequência localizado em envelope) são tratados como ondas senoidais e cossenoidais para fornecer uma descrição completa e precisa de uma forma de onda complexa (Helstrom, 1961).

A análise global tem como base: 1) a análise é em princípio um processo global. Ou seja, a análise de Fourier para uma determinada frequência e orientação é determinada pela forma da função de orientação estendida infinitamente no espaço. A análise de Fourier pode ser aplicada em qualquer escala, pois mesmo o espaço visual não sendo infinito, a análise visual segundo De Valois e De Valois (1980) estender a 200 graus ou mais; 3) a análise global é para estímulos visuais com alta periodicidade, por exemplo, grades senoidais, frequências radiais, angulares, etc.; 4) a abordagem de Fourier é para a análise ou a síntese de qualquer estímulo visual, levando em consideração a frequência espacial e a orientação; 5) dados obtidos com padrões de frequências radiais, angulares e hipérboles não podem ser analisados

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 frequências 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

Foram relatados acima vários modelos e métodos diferentes que mapeiam respostas psicofísicas e neurofisiológicas para uma dada forma para um dado modelo de canais múltiplos de somação espacial linear. Por esse motivo, o termo não-linear é uma denominação genérica para aqueles cognitivos de reconhecimento visual que enfatizam o papel da informação para baixo ou *top-down* (Olds & Milner, 1954; De Valois & De Valois, 1997).

Em resumo, os modelos de processamento visual teoricamente diferem de vários aspectos das teorias clássicas em percepção visual, incluindo a teoria da *Gestalt*, que se fundamenta na organização de figura e fundo, fechamento, continuidade, simetria e outros. O processamento visual que ocorre de cima para baixo é característico da perspectiva da percepção visual da forma como representações mentais. Ao contrário dos discutidos neste trabalho de forma visual da forma, que é sintetizada a partir das informações que chegam à retina, isto é, processamento de baixo para cima ou *bottom-up* (modelos de processamento comportamentais).

Considerações

Um modelo, na maioria das vezes, é uma matemática que nasce com suas próprias regras. Um modelo vier simular fenômenos biológicos (p.ex. sistema visual) é um modelo e passa a ser o próprio fenômeno. É difícil se não impossível produzir um modelo que seja

Um sistema de camuflagem perfeito deveria levar em consideração o processamento *bottom-up* (modelo de canais múltiplos) e *top-down* (cognição). *Bottom-up* porque teria que filtrar as frequências espaciais baixas, médias e altas. Uma vez que os canais para as frequências espaciais baixas dão o formato geral do objeto, já os canais para as frequências espaciais médias dão o formato que se assemelha ao objeto final, enquanto que os canais para as frequências 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*, 210, 237-250.
- Campbell, F. W., Cooper, G. F., Robson, J. G. & Sagi, S. M. (1966). The spatial selectivity of cells of the cat and the human. *Journal of Physiology*, 204, 120-121.
- Campbell, F. W. & Maffei, L. (1974). Contrast and spatial frequency. *American Journal of Physiology*, 231, 106-114.
- Campbell, F. W., Nachmias, J. & Jukes, J. (1970). Spatial frequency in human vision. *Journal of the Optical Society of America*, 66, 559.
- Campbell, F. W. & Robson, F. G. (1968). Application of the spatial frequency theory to the visibility of gratings. *Journal of Physiology*, 204, 173-187.
- Carrasco, M., McLean, T. L., Katz, S. M. & Frieder, J. (1984). Asymmetries in visual search: Effects of direction, eccentricity, orientation and spatial frequency. *Journal of Experimental Psychology*, 113, 347-374.
- Dakin, S. C. & Hess, R. F. (1997). The spatial frequency selectivity of human motion perception. *Vision Research*, 37(20), 2711-2727.
- Daugman, J. G. (1984). Spatial visual channels in the human visual system. *Research*, 24(9), 891-910.
- De Valois, R. L., Albrecht, D. G. & Thorell, L. G. (1982). The spatial frequency selectivity of LGN and cortical cells in monkey visual system. In L. H. van der Tweel (Orgs.), *Spatial Contrast* (pp. 1-10). North Holland.
- De Valois, R. L., Albrecht, D. G. & Thorell, L. G. (1982). The spatial frequency selectivity of cells in macaque visual cortex. *Journal of Experimental Psychology*, 112, 559.
- De Valois, R. L. & De Valois, K. K. (1980). Spatial frequency selectivity. *Psychology*, 31, 309-341.
- De Valois, R. L. & De Valois, K. K. (1988). *Spatial vision*. New York: University Press.
- De Valois, R. L., Yund, E. W. & Hepler, N. (1982b). The direction selectivity of cells in macaque visual cortex. *Journal of Experimental Psychology*, 112, 531-544.
- DePalma, J. J. & Lowry, E. M. (1962). Sine-wave gratings. II Sine-wave and square sensitivity. *Journal of Experimental Psychology*, 52, 328-335.
- Ellemberg, D., Lewis, T. L., Liu, C. H. & Maurer, D. (1997). The development of spatial and temporal vision during childhood. *Journal of Experimental Psychology*, 122, 2325-2333.
- Enroth-Cugell, C. & Robson, J. M. (1966). The contrast sensitivity of foveal retinal ganglion cells of the cat. *Journal of Physiology*, 197, 545-558.
- Gallant, J. L., Connor, C. E. & Van Essen, D. C. (1983). The orientation and direction selectivity of neurons in area V1, V2, and V4 during free viewing of natural scenes. *NeuroReport*, 9, 1673-1677.
- Geisler, W. S. & Albrecht, D. G. (1997). Visual cortex neurons in monkey and cats: Detection, discrimination, and adaptation. *Neuroscience*, 14, 897-919.
- Georgeson, M. A. & Meese, T. S. (1997). Perception of edge detection: The role of spatial filters in edge analysis. *Journal of Experimental Psychology*, 126, 3255-3271.
- Geri, G. A., Lyon, D. R. & Zeevi, Y. Y. (1995). Processing of multicomponent Gabor textures in the central visual cortex. *Journal of Experimental Psychology*, 124, 1-10.

- 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*, 5, 665-675.
- Ikedda, H. & Wrigth, 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. & Tulunay-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 revealed 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*, 57, 100-104.
- Morley, J. W. & Vickery, R. M. (1997). Selectivity of cells in area 21a of the monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, 495, 405-413.
- Movshon, J. A. & Newsome, W. T. (1996). Selectivity of cells in area 17 of the monkey striate cortex projecting to area 21a of the monkey visual cortex. *Journal of Physiology*, 495, 405-413.
- Movshon, J. A., Thompson, I. D. & Tolhurst, D. J. (1987). The spatial contrast sensitivity of neurons in the monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, 294, 1-27.
- Murphy, P. C. & Sillito, A. M. (1996). The spatial contrast sensitivity of single axons from visual cortical area 17 of the cat. *Journal of Physiology*, 495, 405-413.
- Olds, E. S. & Engel, S. A. (1998). Lateral inhibition and object recognition. *Vision Research*, 38, 1146-1148.
- Pantle, A. & Sekuler, R. (1968). Size discrimination. *Science*, 162, 1146-1148.
- Peterzell, D. H. & Teller, D. Y. (1996). The spatial contrast sensitivity functions: The lowest detectable contrast. *Vision Research*, 36, 3077-3085.
- Polat, U. & Sagi, D. (1993). Lateral inhibition and facilitation revealed by suppression and facilitation reversal. *Vision Research*, 33, 993-999.
- Pollen, D. A., Lee, J. R. & Taylor, J. H. (1975). The reconstruction of the visual system. I. The receptive fields of complex cells in the monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, 195, 215-243.
- Pollen, D. A. & Ronner, S. F. (1975). The receptive fields of complex cells in the monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, 195, 215-243.
- Regan, D., Bartol, S., Murray, T. J. & Beverley, K. I. (1983). Spatial frequency discrimination in normal vision and in the monkey. *Brain*, 105, 735-754.
- Regan, D. & Beverley, K. I. (1983). Spatial frequency discrimination: comparison of postoperative and normal vision. *Journal of the Optical Society of America*, 73, 1684-1688.
- Robson, J. G. (1975). Receptive fields: The receptive fields of complex cells and intensive attributes of the visual system. In P. Fridman (Orgs.), *Handbook of Psychology*. New York: Academic Press.
- Sachs, M. B., Nachmias, J. & Robson, J. G. (1971). Selectivity of cells in area 17 of the monkey striate cortex. *Journal of the Optical Society of America*, 67, 1163-1168.
- Schade, O. H. (1948). Electro-optical characteristics of vision and vision. 1. Characteristics of vision and vision. *Journal of the Optical Society of America*, 46, 1-10.
- Schade, O. H. (1956). Optical and photometric characteristics of vision and vision. *Journal of the Optical Society of America*, 46, 1-10.
- Schiller, P. H., Finlay, B. L. & Volman, S. J. (1975). Single-cell properties in monkey striate cortex: specificity and ocular dominance. *Journal of Physiology*, 250, 1333-1344.
- Sekuler, R. (1974). Spatial Vision. *Annual Review of Psychology*, 25, 571-591.
- Sengpiel, F., Baddeley, R. J., Freeman, T. J. & Tjebk, H. (1998). Different mechanisms underlying the spatial frequency selectivity of cells in area 17. *Vision Research*, 38, 1146-1148.

- 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. (1997). The spatial frequency tuning of orientation selective units estimated from human psychophysical data. *Vision Research*, 23, 873-882.
- Wilson, H. R., Nagy, S. E., Mets, M. B. & Perrera, V. (1999). The spatial frequency and orientation tuning of spatial visual units in human albinos. *Vision Research*, 28, 991-999.
- Wilson, H. R., & Wilkinson, F. (1997). Evolving concepts of spatial frequency in vision: From independence to nonlinear interactions. *Vision Research*, 26, 939-960.
- Wilson, H. R. & Wilkinson, F. (1998). Detection of spatial frequency glass patterns: Implications for form vision. *Vision Research*, 29, 2947.
- Yager, D. & Kramer, P. (1991). A model for perception of spatial frequency and spatial frequency discrimination. *Vision Research*, 31, 1115-1122.
- Zhou, Y. & Baker, C. L. J. (1996). Spatial properties of orientation selective cells in area 17 and 18 neurons of the cat. *Journal of Neuroscience*, 16, 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.