



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; Nogueira Toscano Barreto Lyra,  
Renata Maria

Processamento Visual da Forma em Humanos: Curvas de Limiar de Contraste para Padrões  
Circularmente Simétricos

Psicologia: Reflexão e Crítica, vol. 17, núm. 2, 2004, pp. 287-294  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18817216>

- 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

## Processamento Visual da Forma em Humanos Curvas de Limiar de Contraste para Padrões Circularmente Simétricos

Natanael Antonio dos Santos<sup>1,2</sup>

Universidade Federal da Paraíba

Maria Lúcia de Bustamante Simas

Renata Maria Toscano Barreto Lyra Nogueira

Universidade Federal de Pernambuco

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi mensurar curvas de limiar de contraste para padrões espaciais circularmente simétricos. Mensurou-se os limiares de contraste para grade senoidal, freqüências radiais e freqüências radiais/angulares. Participaram dos experimentos 6 adultos jovens com acuidade visual normal ou estimadas com o paradigma psicofísico da escolha forçada foram: 0,2; 0,3; 0,5; 0,8; 1; 2; 3; 4; 6 e 9 cpd. Os resultados mostraram que a combinação de freqüências radiais com freqüências angulares causou um aumento na sensibilidade do sistema visual de pelo menos 1,6 em relação à curva de sensibilidade ao contraste para estímulos radiais puros. Estes resultados suportam o modelo de canais múltiplos de freqüências espaciais para estímulos definido *a priori* em termos de coordenadas polares.

*Palavras-chave:* Processamento visual da forma; freqüência angular; freqüência radial; sensibilidade ao contraste; força.

**Visual Processing of Form in Human: Threshold Contrast Curves to Concentrically Symmetric Spatial Patterns**

### Abstract

The aim of this work was to measure contrast sensitivity curves to concentrically symmetric patterns in a system of polar coordinates. We measured the contrast thresholds to sine wave gratings, radial frequencies and coupled radial/angular frequencies. With corrected-to-normal visual acuity participated in the experiments. The frequencies measured with a forced choice method were 0.2, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 and 9.0 cpd. Results showed that coupled radial/angular frequencies caused an increase in the sensitivity of at least 1.6 times in relation to radial contrast sensitivity function. These results support the model of multiple channels processing of spatial frequencies of stimuli defined in terms of polar coordinates.

*Keywords:* Visual processing of form; radial frequency; angular frequency; contrast sensitivity; forced choice method.

Campbell e Robson (1968) propuseram o modelo de canais múltiplos para estudar o processamento visual da forma e contraste. De acordo com Campbell e Robson, o sistema visual humano (SVH) responde seletivamente a freqüências espaciais, ou seja, o sistema visual (SV) processa simultaneamente diferentes faixas estreitas de freqüências espaciais (Blakemore & Campbell, 1969b; Campbell & Robson, 1968; Sachs, Nachmias & Robson, 1971). Em outras palavras, a abordagem de canais múltiplos ou análise de

O modelo de canais múltiplos para estudar o processamento visual da forma e contraste (1/CSF) ou modelo de envelope do contraste (CSF) é o envelope da soma de todos os canais, cada um sensível a uma faixa de freqüências (Braddick, Campbell & Atkinson, 1971; R. L. De Valois & K. K. De Valois, 1965). No contexto, a CSF tem sido útil para compreender os mecanismos de processamento visual da forma e contraste.

composto por mecanismos ou canais sintonizados para bandas estreitas de freqüências espaciais (R. L. De Valois & K. K. De Valois, 1988; Santos & Simas, 2001a; Simas & Santos, 2002a; Wilson, Levi, Maffei, Rovamo & De Valois, 1990).

## A Estimulação Visual: Estímulos Elementares

Na investigação da percepção ou do processamento visual da forma e de contraste dentro da perspectiva de canais múltiplos, as características matemáticas e físicas que definem o estímulo visual no espaço são fundamentais, principalmente, a medida em que estas possam ser relacionadas à detecção e ao reconhecimento ou ao processamento neural que envolve a análise e síntese da imagem percebida. Neste sentido, a variação dos níveis de luminância que determinam o contraste (ou a luminância média que determina o brilho perceptivo) e a frequência espacial assumem um papel importante na percepção visual da forma. Assim, a mensuração da sensibilidade ao contraste em função da configuração espacial que o estímulo pode assumir é um dos aspectos essenciais para se compreender e modelar mecanismos envolvidos no processamento visual de objetos.

## Padrão Espacial Circularmente Simétrico e a Função de Sensibilidade ao Contraste

Os estudos clássicos que procuraram caracterizar os mecanismos responsáveis pelo processamento de contraste no SVH se basearam principalmente em resultados com grades senoidais verticais (Blakemore & Campbell, 1969a, 1969b; Blakemore, Nachmias & Sutton, 1970; Campbell & Maffei, 1970, 1974; Campbell & Robson, 1968; Graham, 1972; Maffei & Fiorentini, 1973; Pantle & Sekuler, 1968), estímulos cartesianos semelhantes aos encontrados na Figura 1. Nas últimas décadas, alguns pesquisadores procuraram estabelecer a existência de canais múltiplos para padrões espaciais diferentes de grade senoidal, por exemplo, freqüências angulares (Santos & Simas, 2002; Simas, 1985; Simas & Dodwell, 1990; Simas, Frutuoso & Vieira, 1992; Simas & Santos, 2002a, 2002b). Entretanto, a primeira proposta de estudar padrões em coordenadas polares ao invés de

Apesar de Kelly ter proposto estímulos radiais desde 1960, o mesmo só foi utilizado 15 anos depois. Kelly e Magnuski (1975) utilizaram padrões radiais circularmente simétricos para estimar a função cilíndrica de Bessel parecem ser mais sensíveis para estímulos visuais, fornecendo um centro de estimulação. O mesmo não acontece com padrões cartesianas, por exemplo, grade senoidal. O principal objetivo de Kelly e Magnuski foi estimar a função de Bessel,  $J_0$ , com a função de freqüências radiais moduladas pela função de Bessel,  $J_0$ . O fato é que nenhum outro autor publicou resultados de estimativa de  $J_0$  até 1982, quando Kelly replicou os resultados de 1975, com a técnica psicofísica de ajustamento, onde o voluntário ajustava seu próprio limite de detecção. Os resultados obtidos por Kelly demonstraram que a estimativa de  $J_0$  foi por volta de 0,75, de maior sensibilidade para  $J_0$ . Os resultados de Kelly também mostraram que a estimativa de  $J_0$  é mais sensível para estímulos do tipo grade senoidal, para estímulos radiais.

Simas e Santos (2002b) mediram a contraste para estímulos radiais modulados esféricos de Bessel para vários  $j_n$  ( $n=0, 1, 2$ ). No paradigma psicofísico da escolha forçada da ordem da função esférica de Bessel, demonstraram que a faixa de máxima sensibilidade para  $j_0$  se deu por volta de 1 cpg, enquanto para  $j_1$  e  $j_2$  deu por volta de 2 e 3 cpg.

Atualmente podemos encontrar na literatura com estímulos circularmente Amidor, 1997; Gallant, Brau & van Essen, Connor, Rakshit, Lewis & van Essen 1999; Essen, 2000; Hess, Wang, Demanins, Wilkinsen, 1999; Mortensen & Meinhardt, 2001; Wilkinson, 1998; Wilkinson, Wilson, & Habak, Wilkinson, 1997, 1998; Wilson, Wilkinson, et al., 1998. No entanto, estes utilizaram sugestões teóricas de Kell, 1969, 1982; Kell & M

experimentos acreditam na possibilidade das áreas superiores do SV (Ex.: área visual V4 e córtex ínfero-temporal, IT) processarem informação visual da forma em termos de freqüências radiais e angulares, o que pode envolver filtragem de faixas ou áreas inteiras do campo visual. No presente estudo, mensuramos a CSF para grades senoidais, freqüências radiais e freqüências radiais/angulares acopladas moduladas pela função cilíndrica de Bessel,  $J_0$ . O objetivo principal foi caracterizar a resposta do SVH para estímulos radiais e angulares acoplados. Acreditamos que estímulos elementares radiais e angulares simples ou acoplados são importantes para o processamento visual de objetos simétricos complexos, por exemplo, faces. Estes também podem ser importantes para medir a sensibilidade de células em áreas do córtex visual sensíveis a estímulos simétricos.

## Método

### Participantes

Participaram dos experimentos 6 voluntários de ambos os sexos com acuidade visual normal ou corrigida na faixa etária de 19-26 anos.

### Equipamentos e Estímulos

Foi utilizado o sistema desenvolvido no próprio laboratório, que compreende um monitor de vídeo SONY-BVM-1910, com entrada “RGBsync” entrelaçada e interfaciado a um microcomputador 486 de 30 MHz através de um placa de aquisição Data-Translation DT-2853. Um programa escrito em linguagem “C” foi desenvolvido para executar os experimentos. Uma cadeira giratória foi fixada a 150 cm da tela do monitor de vídeo. Uma tábua cinza foi situada acima do monitor de vídeo para onde o voluntário, entre uma apresentação e outra, deveria fixar o olhar com o objetivo de diminuir os efeitos de pós-imagem. A luminância média foi de 6,9 cd/m<sup>2</sup> ajustada por um fotômetro do tipo SPOT METTER, com precisão de um grau, ASAHI PENTAX. A luminância mínima foi de 6,2 cd/m<sup>2</sup> e a máxima de 7,5 cd/m<sup>2</sup>. O ambiente do laboratório era cinza para melhor controle da luminância.

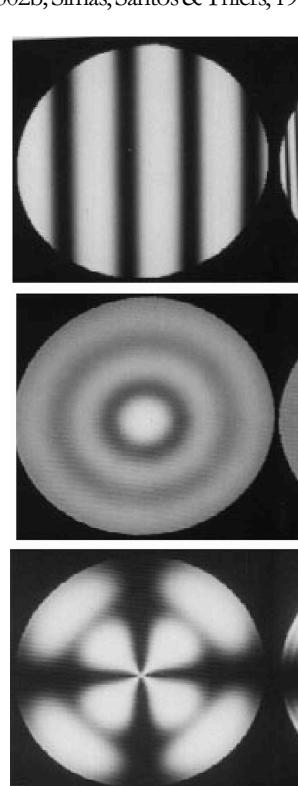


Figura 1. Exemplos de estímulos. Acima, grades senoidais; na base, freqüências radiais e embaixo, freqüência angular de 4 ciclos.

### Procedimento

As estimativas foram realizadas de forma voluntária e forçada (Santos, 1999; Simas & Santos, 2002a, 2002b). Este mé-

Durante cada sessão experimental era apresentada uma seqüência de estímulos que foi iniciada por um sinal sonoro seguido imediatamente pela apresentação do primeiro estímulo por 2 s, seguido de um intervalo entre estímulos de 1 s, seguido pela apresentação do segundo estímulo por 2 s e da resposta do voluntário. A ordem de apresentação dos estímulos era aleatória. Se a resposta do voluntário fosse correta, era seguida por outro sinal sonoro e um intervalo de 3 s para a seqüência se repetir. Em outras palavras, o intervalo entre tentativas era de 3 s independente da resposta (ou escolha) ser correta ou não. O sinal sonoro que indicava o início da apresentação do par de estímulos e o que indicava a escolha correta eram diferentes e discretos. A sessão experimental variava em duração dependendo dos erros e acertos do voluntário até proporcionarem um total de 10 máximos e 10 mínimos conforme requerido para o final automático da mesma.

Cada um dos pontos (ou freqüências) da curva de limiar de contraste para freqüências radiais ou freqüências radiais/angulares acopladas corresponde a uma sessão experimental. Cada freqüência foi estimada pelo menos duas vezes, em dias diferentes, por cada um dos seis voluntários. Em média, 12 curvas foram medidas para cada conjunto de estímulo (espaciais, radiais e radiais/angulares acoplados) gerando uma amostra de aproximadamente 240 valores para cada um dos pontos estimados. Todas as estimativas foram medidas à distância de 150 cm, com visão binocular.

Os voluntários foram orientados antes da sessão a pressionar a barra de espaço quando julgassem que o estímulo de teste tivesse sido apresentado primeiro e qualquer tecla acima da barra de espaço quando julgasse que o mesmo tivesse sido apresentado em segundo lugar, isto é, após o estímulo de fundo. Em outras palavras, a tarefa do observador foi escolher sempre o estímulo que continha a freqüência espacial, radial ou radial/angular acoplada.

## Resultados

A Figura 2 mostra as curvas de limiar de contraste para os estímulos de freqüências radiais (1/rCSF),

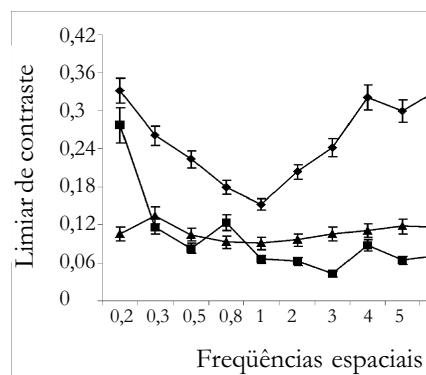


Figura 2. Curvas de limiar de contraste radiais (1/rCSF), grades senoidais (1/CSF) radiais acopladas à freqüência angular (1/r.aCSF). As barras verticais correspondem ao erro-padrão da média corrigido para o tamanho da amostra pelo *t*-Student com intervalo de confiança de 95%.

mais estrito do que a utilização da ANOVA para amostras correlacionadas. Por exemplo, quando se considera o erro-padrão da média assim corrigido, até mesmo pela metade, ainda assim um teste para amostras correlacionadas revela diferenças que são significativas com  $p < 0,05$ . Nos resultados, os erros-barras não se sobrepõem, as médias com  $p < 0,001$ . A ANOVA tende a mostrar resultados significativos em todos os fatores e não informa a natureza da diferença.

A Figura 2 mostra a média geral dos limiares de contraste para todos os participantes em função das freqüências senoidais (1/CSF), freqüências radiais (1/rCSF) e freqüências radiais/angulares acopladas (1/r.aCSF) em função do ângulo visual (cpg). As barras verticais correspondem ao erro-padrão das médias com intervalo de confiança corrigidos para o tamanho da amostra pelo *t*-Student.

A função de sensibilidade ao contraste

Os resultados demonstram, ainda, que o SVH apresenta maior sensibilidade para freqüências espaciais e menor sensibilidade para freqüências radiais. O acoplamento de freqüências radiais à angular de 4 ciclos (1/r.aCSF) proporcionou um aumento na sensibilidade ao contraste da ordem de pelo menos 1,6 vezes em favor dos estímulos acoplados quando comparados à 1/rCSF (Figura 2). A ordem crescente dos estímulos do menos sensível para o mais sensível foi  $1/rCSF < 1/r.aCSF < 1/CSF$ .

Estes resultados são consistentes com a existência de mecanismo sensíveis a estímulos circularmente simétricos ou estímulos em coordenadas polares simples ou acoplados.

## Discussão

Os resultados mostram que a curva de limiar para estímulos circularmente simétricos radiais e radiais/angulares acoplados em coordenadas polares ( $1/r\text{CSF}$  e  $1/r.a\text{CSF}$ ) possuem as mesmas características gerais que a curva de limiar para estímulos em coordenadas cartesianas do tipo grade senoidal,  $1/\text{CSF}$  (Figura 2). Isto é, faixa de máxima sensibilidade nas freqüências intermediárias, aproximadamente no centro da curva, com atenuações nas freqüências baixas e altas, extremos da curva. Teoricamente, a  $1/r\text{CSF}$  (ou  $1/r.a\text{CSF}$ ) para estímulos radiais e radiais/angulares acoplados em coordenadas polares seriam tão importantes quanto a  $1/\text{CSF}$  para grades senoidais em coordenadas cartesianas (Santos, 1999; Simas & Dodwell, 1990; Simas & cols., 1992, 1997; Simas & Santos, 2002a, 2002b), podendo até ser mais relevantes, dependendo dos atributos visuais que se pretende estudar, como por exemplo, a percepção de imagem simétrica (Ex.: faces) ou outros atributos tais como anisotropia, fase e análise espacial em coordenadas polares. Inclusive, ao observar os limiares de contraste do SVH para estímulos radiais, radiais/angulares acoplados e grade senoidal (Figura 2), parece que cada conjunto de estímulo tem atributos peculiares relacionados à detecção da forma e do contraste que os diferenciam entre si. As alterações na sensibilidade do SVH para esses estímulos são difíceis de ser explicadas por um mecanismo único, conforme

## Sensibilidade para estímulos angulares acoplados

Simas e colaboradores demonstraram que o contraste para freqüências acopladas era mais alta do que para freqüências desacopladas (Simas & Santos, 1997; Simas & Santos, 2002b). Isso sugere que o acoplamento de freqüências melhora a sensibilidade ao contraste.

simétricos e sofrem pouca influência da orientação, pode-se esperar menor sensibilidade para estímulos radiais puros. Esta hipótese é reforçada por Simas e colaboradores que mostram maior sensibilidade para freqüências angulares comparadas a freqüências espaciais e radiais. Estudos neurofisiológicos, também, sugerem que estímulos em coordenadas polares são processados por mecanismos distintos e em áreas corticais distintas (Desimone & Schein, 1987; Gallant & cols., 1993, 1996; Kobatake & Tanaka, 1994; Tanaka, 1996; Van Essen & cols., 1992). Por exemplo, em 1994 Kobatake e Tanaka encontraram células seletivas a estímulos radiais na área visual V2, enquanto Gallant e colaboradores (1993, 1996) encontraram evidências para estímulos radiais e angulares na área visual V4.

Os dados discutidos até aqui demonstram que a sensibilidade do SVH para determinados estímulos depende das características espaciais, físicas, do modelo matemático e do sistema de coordenadas (polares ou cartesianas) que definem os mesmos. Estas características, dentre outras, por sua vez, estão relacionadas à detecção, ao processamento neural e à integração final da imagem percebida. Levando em conta estas ou partes destas considerações, além do contexto experimental em que os estímulos estão inseridos, podemos afirmar que o SVH é mais sensível para freqüências angulares e menos sensíveis para freqüências radiais puras. Assim, a ordem decrescente do mais sensível para o menos sensível neste trabalho foi:  $1/CSF > 1/r.aCSF > 1/r.CSF$ .

Assim podemos concluir que o SVH é sensível a estímulos descritos em um sistema de coordenadas polares. Estes achados reforçam a idéia de um possível envolvimento de padrões radiais e angulares em coordenadas polares no processamento e reconhecimento de objetos.

Estes resultados estão de acordo com dados psicofísicos (Wilson & Wilkinson, 1998; Wilson & cols., 1997) e fisiológicos que relatam o envolvimento de V4 e IT no processamento e amostragem de áreas grandes do campo visual ou processamento de forma global, por exemplo faces (Bruce, Desimone & Gross, 1981; Desimone, 1991; Desimone & Schein, 1987; Gallant & cols., 1993, 1996;

K. K. De Valois, 1988; Manahilov & Wilkinson & cols., 2000; Wilson & Wilkinson & cols., 1997). Por outro lado, até o momento não existem relatos de que unidades neurais primária, V1, executem filtragem de estímulos em coordenadas polares, amostrando áreas grandes da visual. Por outro lado, existem dados baseados em psicofísicos em humanos (Wilkinson & cols., 1997, 1998; Wilson & Wilkinson, 1997, 1998; Wilson & cols., 1999) e neurofisiológicos em primatas (Bruce, Desimone, 1991; Desimone & Schein, 1987, 1993, 1996; Hegde & Van Essen, 2000; Hegde & Van Essen, 1992; Merigan, 1996; Van Essen & cols., 1992) e com imagem de ressonância magnética em humanos (Wilkinson & cols., 2000), de que a informação que ocorre em vias intermedias e áreas mais avançadas (Ex.: IT) do sistema visual é modelada por filtros espaciais globais em coordenadas polares. Alguns desses trabalhos destacaram que a área V4 pode formar o ponto intermediário da visão de forma de V1 para V2 (Wilson & cols., 1992; Merigan, 1996; Van Essen & cols., 1992; Wilson & cols., 2000; Young, 1992). Inclusive, estes resultados mostraram que os campos receptivos de V4 são muito maiores do que os campos receptivos de V1 (Desimone & Schein, 1987; Kobatake, 1994; Merigan, 1996; Tanaka, 1996). Assim, o processamento e integração de padrões radiais e angulares ocorram em áreas visuais extra-estriatais (Ex.: V4, IT). O estudo de Wilkinson e colaboradores (1997) que utilizou a técnica de imagem de ressonância magnética em humanos reforçou os estudos psicofísicos e neurofisiológicos com primatas que mostraram que estímulos em coordenadas polares são processados em áreas extra-estriatais (Ex.: V4, IT). Disto, este estudo reforçou a idéia de que as áreas de humanos e de primatas são muito semelhantes, em artigo recente, Connor (2000) afirma que a localização das áreas visuais extra-estriatais em humanos é idêntica àqueles em primatas.

sobre processamento de estímulos elementares em coordenadas polares e o processamento e o reconhecimento de faces com enfoque no processamento de áreas grandes do campo visual ou processamento global.

Em síntese, estes resultados fornecem evidências para mecanismos distintos sintonizados para percepção de padrões simétricos em coordenadas polares. Por outro lado, estes resultados sobre detecção por si só não podem provar que o SVH utiliza freqüências radiais e angulares simples ou acopladas para processar e reconhecer objetos ou uma cena visual. Portanto, o fato de o SVH ser sensível a estímulos desta natureza é um indício forte da importância destes estímulos no processamento visual da forma, mas não que estes sejam realmente empregados neste processo.

## Referências

- Amidor, I. (1997). Fourier spectrum of radially periodic images. *Journal of the Optical Society of America A*, 14, 816-826.
- 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, 727-750.
- Braddick, O., Campbell, F. W. & Atkinson, J. (1978). Channels in vision: Basic aspects. Em R. Held, H. W. Leibowitz & H. L. Teuber (Orgs), *Handbook of Sensory physiology: Perception*. (Vol. V, pp. 3-38). New York: Springer-Verlag.
- Bruce, C. J., Desimone, R. & Gross, C. G. (1981). Visual properties of neurons in a polysensory area in superior temporal sulcus of the macaque. *Journal of Neurophysiology*, 46, 369-384.
- Campbell, F. W. & Maffei, L. (1970). Electrophysiological evidence for the existence of orientation and size detectors in the human visual system. *Journal of Physiology*, 207, 635-652.
- Campbell, F. W. & Maffei, L. (1974). Contrast and spatial frequency. *Scientific American*, 231, 106-114.
- Campbell, F. W. & Robson, F. G. (1968). Application of the Fourier analysis to the visibility of gratings. *Journal of Physiology*, 197, 551-566.
- Connor, C. E. (2000). Visual perception: Monkeys see things our way. *Current Biology*, 10, R836-R838.
- Cornsweet, T. N. (1970). *Vision perception*. New York: Academic Press.
- De Valois, R. L. & De Valois, K. K. (1988). *Spatial vision*. New York: Oxford University Press.
- Hegde, J. & Van Essen, D. C. (2000). Selective processing of radial patterns in the visual area V2. *Journal of Neuroscience*, 20, 901-914.
- Hess, R. F., Wang, Y.-Z., Demanins, R., Weller, J. & Hodge, S. (1999). A spatial frequency deficit in strabismic amblyopia for global patterns. *Journal of Vision*, 1, 901-914.
- Heywood, C. A., Gadotti, A. & Cowey, A. (1996). The perception of global patterns and the perception of color. *Journal of Neuroscience*, 16, 1115-1116.
- Kelly, D. H. (1960). J<sub>0</sub> stimulus patterns for the detection of motion. *Journal of the Optical Society of America*, 50, 1115-1116.
- Kelly, D. H. (1982). Motion and vision: A Fourier transform: Circular targets. *Visual Neuroscience*, 1, 1-10.
- Kelly, D. H. & Magnuski, H. S. (1975). Pattern detection: Circular targets. *Visual Neuroscience*, 1, 1-10.
- Kobatake, E. & Tanaka, K. (1994). Neurons selective for radial patterns in the ventral visual pathway of the macaque. *Journal of Neurophysiology*, 71(3), 856-867.
- Maffei, L. & Fiorentini, A. (1973). The visual system of the macaque. *Vision Research*, 13, 1255-1267.
- Manabili, V. & Simpson, W. A. (2001). Selective processing of radial patterns in the visual system. *Vision Research*, 41, 1547-1560.
- Merigan, W. H. (1996). Basic visual capabilities of extrastriate area V4 in macaques. *Visual Neuroscience*, 13, 1255-1267.
- Mortensen, U. & Meinhardt, G. (2001). Detecting radial patterns: Further evidence for the matching hypothesis. *Biological Cybernetics*, 84, 162-168.
- Pantle, A. & Sekuler, R. (1968). Size detection in the macaque. *Journal of the Optical Society of America*, 58, 1146-1148.
- Sachs, M. B., Nachmias, J. & Robson, J. G. (1970). Size selective neurons in the human visual system. *Journal of the Optical Society of America*, 60, 1146-1148.
- Santos, N. A. (1999). *Sistema visual humano: Componentes e processos*. São Paulo: Ed. da Unesp.
- Santos, N. A. (2001a). A teoria da forma: Discutindo modelos teóricos da percepção de forma. *Revista Brasileira de Psicologia*, 30, 151-160.
- Santos, N. A. & Simas, M. L. B. (2001b). Indicador da percepção visual da forma. *Revista Brasileira de Psicologia e Crítica*, 14, 589-597.
- Santos, N. A. & Simas, M. L. B. (2002). Percepção de forma em humanos: Filtros de freqüências radiais e angulares. *Revista Brasileira de Psicologia e Crítica*, 15, 383-391.
- Simas, M. L. B. (1985). *Linearity and domain in perception*. Kingston, Ontario: Queen's University at Kingston, Ontario.
- Simas, M. L. B. & Dodwell, P. C. (1990). A model of the perception of form. *Visual Neuroscience*, 7, 111-120.

- Van Essen, D. C., Anderson, C. H. & Felleman, D. J. (1992). Information processing in the primate visual system: An integrated systems perspective. *Science*, *255*, 419-423.
- Verrall, S. C. & Kakarala, R. (1998). Disk-harmonic coefficients for invariant pattern recognition. *Journal of the Optical Society of America A*, *15*, 389-401.
- Vincent, A. & Regan, D. (1995). Parallel independent encoding of orientation, spatial frequency, and contrast. *Perception*, *24*, 291-299.
- Wetherill, G. B. & Levitt, H. (1965). Sequential estimation of points on a psychometric function. *The British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, *48*, 1-10.
- Wilkinson, F., Wilson, H. R. & Habak, C. (1998). Detection and recognition of radial frequency patterns. *Vision Research*, *38*, 3555-3568.
- Wilkinson, F., James, T. W., Wilson, H. R., Gati, J. S., Menon, E. S. & Goodale, M. A. (2000). An fMRI study of the selective activation of human extrastriate form vision areas by radial and concentric gratings. *Current Biology*, *10*, 1455-1458.
- 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. & Wilkinson, F. (1997). Evolving conception of form vision: From independence to nonlinear interaction. *Vision Research*, *37*, 291-299.
- Wilson, H. R. & Wilkinson, F. (1998). Detection of global form: Implications for form vision. *Vision Research*, *38*, 291-299.
- Wilson, R. W., Wilkinson, F. & Asaad, W. (1997). Concentric organization in human form vision. *Vision Research*, *37*, 2325-2335.
- Young, M. P. (1992). Objective analysis of topological organization in the cortical visual system. *Nature*, *358*, 152-155.

#### Sobre os Autores

**Natanael Antonio dos Santos** é Doutor em Psicologia (Neurociências e Comportamento) pelo Instituto de Psicologia Experimental da USP (1999). Professor Adjunto do Departamento de Psicologia da Universidade Federal da Paraíba. É Coordenador do Laboratório de Processamento Visual – LabPVis. Linha de Pesquisa: