

 <p>ESCOLA DE CIÊNCIAS DA SAÚDE E DA VIDA</p>	<p>PSICO</p> <p>Psico, Porto Alegre, v. 51, n. 4, p. 1-14, out.-dez. 2020 e-ISSN: 1980-8623 ISSN-L: 0103-5371</p>
<p> http://dx.doi.org/10.15448/1980-8623.2020.4.38077</p>	

ARTIGO

Desenvolvimento e validação de medidas psicofísicas de sensibilidade ao contraste de segunda-ordem

Development and validation of second-order psychophysical contrast sensitivity measures

Desarrollo y validación de medidas de sensibilidad al contraste psicofísico de segundo-orden

Marcelo Fernandes

Costa¹

orcid.org/0000-0002-3944-8457

costamf@usp.br

Otávio Corrêa Pinho¹

orcid.org/0000-0002-3883-3767

otavio.pinho@hotmail.com.br

Recebido em: 12 maio 2020.

Aprovado em: 9 set. 2020.

Publicado em: 15 mar. 2021.

Resumo: A medida de Sensibilidade ao Contraste (SC) de primeira ordem é frequentemente utilizada para avaliação da percepção espacial. Nosso objetivo foi desenvolver e validar um teste de SC de segunda ordem para aplicação clínica. Modificações metodológicas foram realizadas na rotina psicofísica para redução do tempo de testagem em um primeiro experimento, validamos a nova metodologia. Em um segundo experimento, valores de normalidade foram derivados do resultado de 16 participantes e foram testados nas mesmas condições do primeiro experimento. As medidas de validade foram obtidas por meio do Spearman-Brown Split-Half Reliability Coefficient para todas as frequências espaciais testadas ($r > 0,90$). O desenvolvimento e a validação deste novo experimento para as medidas de SC de segunda ordem permitirão avançar nos estudos dos mecanismos básicos da percepção de espaço para estímulos complexos, assim como a aplicação clínica em diversas doenças.

Palavras-chave: sensibilidade ao contraste, segunda ordem, psicofísica, percepção espacial, métodos psicofísicos

Abstract: The first-order Contrast Sensitivity (SC) measure is often used to assess spatial perception. Our goal was to develop and validate a second-order SC test for clinical application. Methodological changes were made in the psychophysical routine to reduce testing time and in the first experiment we validated the new methodology. In a second experiment, normal values were derived from the result of sixteen participants who were tested under the same conditions as the first experiment. Validity measures were obtained using Spearman-Brown Split-Half Reliability Coefficient for all tested spatial frequencies ($r > 0.90$). The development and validation of this new experiment for second-order SC measures will allow to advance in the studies of the basic mechanisms of the perception of space for complex stimuli, as well as the clinical application in several diseases.

Keywords: contrast sensitivity, second order, psychophysics, spatial perception, psychophysical methods

Resumen: La medida de sensibilidad al contraste (SC) de primer orden se utiliza a menudo para evaluar la percepción espacial. Nuestro objetivo era desarrollar y validar una prueba SC de segundo orden para aplicación clínica. Se realizaron cambios metodológicos en la rutina psicofísica para reducir el tiempo de prueba y en el primer experimento validamos la nueva metodología. En un segundo experimento, los valores normales se derivaron del resultado de dieciséis participantes que fueron evaluados en las mismas condiciones que el primer experimento. Las medidas de validez se obtuvieron utilizando el coeficiente de confiabilidad de la mitad dividida de Spearman-Brown para todas las frecuencias espaciales probadas ($r > 0.90$). El desarrollo y validación de este nuevo experimento para medidas CS de segundo orden permitirá avanzar en los estudios de los mecanismos básicos de percepción del espacio para estímulos complejos, así como la aplicación clínica en diversas enfermedades.

Palabras clave: sensibilidad al contraste, segundo orden, psicofísica, percepción espacial, métodos psicofísicos



Artigo está licenciado sob forma de uma licença
[Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

¹ Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil.

A nossa percepção é uma representação subjetiva do mundo físico. Ela é um processo ativo, no qual as informações provenientes de estímulos sensoriais são utilizadas para a construção de nossa representação interna consciente. Os métodos psicofísicos estão entre as melhores construções métricas para o estudo de mecanismos sensoriais e perceptuais de todos os níveis, sejam periférico/receptorais, sejam de funções de alta ordem como julgamento, atitude e tomadas de decisão (Bartoshuk et al., 2004).

Classicamente, a percepção visual é baseada em medidas de funções como acuidade visual (menor detalhe espacial percebido), sensibilidade ao contraste (menor nível de contraste de luminância percebida) entre outras, como hiperacuidade de Vernier (Amesbury & Schallhorn, 2003; Ginsburg, 2003), contribuição dos subsistemas ON e OFF da via visual primária (Costa, 2011). Tem importância demonstrada no entendimento de mecanismos básicos do sistema visual (Amesbury & Schallhorn, 2003; J. M. Brown, Breitmeyer, Hale, & Plummer, 2018; Leguire et al., 2011), seu desenvolvimento (Atkinson, Braddick, & Braddick, 1974; Banks & Salapatek, 1976; A. M. Brown, Opoku, & Stenger, 2018), assim como na identificação de alterações funcionais elementares em diversas doenças visuais como a ambliopia (Kiorpes, Kiper, & Movshon, 1993; Zele, Pokorny, Lee, & Ireland, 2007) ou psiquiátricas como o autismo (Koh, Milne, & Dobkins, 2010; Mukaddes, Kilincaslan, Kucukyazici, Sevketoglu, & Tuncer, 2007; Simmons et al., 2009; Weinger, Zemon, Soorya, & Gordon, 2014) e a esquizofrenia (Bedwell et al., 2013; Beige et al., 2017; O'Donnell et al., 2002; Silverstein et al., 2015; Tibber et al., 2015).

No entanto, os estímulos de grades senoidais utilizados nesses estudos apresentam muita artificialidade quando comparados aos componentes espaciais presentes no mundo real (Westrick & Landy, 2013). Poucos estudos, contudo, buscam entender os mecanismos da percepção de espaço avançando na complexidade de estímulos denominados de segunda ordem (Barbot, Landy, & Carrasco, 2012; Schofield & Georgeson, 2003) e, assim, se aproximando mais das estruturas de interações espaciais complexas do ambiente.

Esses estímulos são inicialmente processados em áreas visuais cerebrais secundárias V2 e a área V4 (Bourne, Lui, Tweedale, & Rosa, 2004; Dumoulin, Baker, Hess, & Evans, 2003) e são os fundamentos perceptuais para estímulos mais complexos como percepção de textura visual e superfícies (Barbot et al., 2012), por exemplo, integrando a informação de detalhe, contraste e localização espacial (Dovencioglu, Welchman, & Schofield, 2013; Schofield, Rock, Sun, Jiang, & Georgeson, 2010).

O ruído branco é um sinal aleatório com igual intensidade em diferentes frequências, o que lhe dá uma densidade espectral de potência constante. É constituído por um sinal binário que varia simetricamente (também referido como gaussiano) entre os valores -1 e 1, no nosso caso, entre os picos de luminância – preto e branco. Assim, os pixels de uma imagem de ruído branco são dispostos tipicamente em uma área espacial quadrada e assumidos como variáveis aleatórias independentes com distribuição de probabilidade uniforme dentro dessa área (Pelli & Farell, 1999). Ruído Rosa ou Ruído de $1/f$ é um estímulo onde o espectro de frequências, no qual a densidade espectral de potência é inversamente proporcional à frequência do sinal, tendo, portanto, como característica, a manutenção de igual potência (energia) entre oitavas da frequência de estimulação (Dutta & Horn, 1981). Em termos de uma banda de frequência constante, o ruído rosa decai em uma razão de 3 dB por oitava. Desta forma, ele atua como um equalizador entre a potência da onda e seus componentes espectrais, o que se assemelha muito às características representacionais dos estímulos perceptuais de maior complexidade, como a textura (Field, 1987; Rogowitz, Huang, Pappas, & Chen, 2009).

Para que seja possível realizar experimentos laboratoriais com ruídos é necessário a utilização de um carreador. O carreador é um sinal que entra na mesma frequência espacial de outro estímulo e acaba por modificar a sua forma original, como por exemplo, o ruído branco é um sinal binário que adentra a mesma frequência espacial de uma grade senoidal e acaba por transformá-la. Um carreador pode atuar modificando totalmente o

estímulo original fazendo com que ele seja irreconhecível sendo uma máscara ou pode atuar como algo que dificulte a identificação do estímulo original, sendo assim um ruído demonstrado na Figura 1B. (Schofield & Georgeson, 2003).

Uma importante questão acessada por recentes estudos de sensibilidade ao contraste de segunda ordem identificou qual é o carreador mais eficiente em aproximar o estímulo resultante a características espaciais próximas ao real (Schofield & Georgeson, 2003). A comparação entre estímulos de grades senoidais carreadas por estímulos de ruído branco e rosa isotrópico (sem orientação), modulados por contraste e por luminância foram extensivamente avaliados neste trabalho. Neste estudo, a fusão entre uma grade de onda senoidal de luminância e um carreador ocorreu por dois tipos de interação, nos quais poderiam gerar pistas de luminância (adição ou subtração de luminâncias locais) ou gerando pistas de contraste (multiplicando ou dividindo as luminâncias locais pelo contraste médio), mantendo-se, assim, o perfil de luminância ou o perfil de contraste da grade. Como resultante, os estímulos por modulação de contraste, em carreadores rosa e branco, foram os mais semelhantes aos espectros de medidas obtidas no mundo real. Assim, esses são os estímulos mais indicados para as medidas de segunda ordem visual.

Nosso estudo tem como objetivo, o desenvolvimento de uma nova medida psicofísica de estimativa de sensibilidade ao contraste para estímulos cuja luminância foi modulada por ruído branco e rosa, que seja clinicamente viável, uma vez que essas alterações podem estar relacionadas aos sintomas de redução visual de diversas condições clínicas como ambliopia (Wong & Levi, 2005), dislexia (Oruc, Landy, & Pelli, 2006), esquizofrenia (Butler et al., 2005), lesões cerebrais traumáticas (Spiegel et al., 2016) entre outras que apresentam significativas alterações visuais. Para tal, o primeiro experimento busca replicar os achados iniciais, realizando uma modificação metodológica para garantir que a testagem ocorresse em tempo viável para uma aplicação clínica. No segundo experimento, aplicamos a medida

em um grupo de participantes para estabelecer as medidas de validade clínica para nosso teste.

Experimento 1

Para o desenvolvimento da medida psicofísica visando uma aplicação clínica, mantivemos os parâmetros de estimulação utilizados no estudo de base (Schofield & Georgeson, 2003). Os autores, a fim de caracterizar a Sensibilidade ao Contraste de segunda ordem, mediram funções de sensibilidade para visão de primeira e segunda ordem na presença de ruído com diferentes propriedades espectrais. O carreador de ruído branco consistia em ruído binário (pixels claros e escuros apenas) com quatro pixels de imagem por amostra de ruído. Este tipo de ruído tem um espectro essencialmente plano em uma ampla banda de frequências espaciais. Para a construção do ruído rosa, amostras de ruído binário foram convertidas para o domínio da frequência usando o método da transformada rápida de Fourier (FFT) e, em seguida, filtradas com um banco de filtros isotrópicos (definidos como anéis de perfil gaussiano no domínio da frequência) com frequências de pico de 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 ciclos por grau de ângulo visual (cpg), com larguras de banda de frequência espacial de 1,5 oitavas. As saídas desses filtros foram então adicionadas para gerar ruído de banda limitada com uma banda de passagem de 0,5–8,0 cpg. Essas frequências de banda limitada foram, então, multiplicadas para gerar um ruído que tem amplitude inversa da frequência espacial de domínio.

O estudo original compreendeu três experimentos principais e um experimento de controle. No primeiro experimento, os limites de detecção para modulações de luminância de primeira ordem (modulado por luminância) de dois carreadores de ruído diferentes (ruído branco binário e ruído rosa) foram medidos. Este experimento foi projetado para examinar o efeito do conteúdo espectral de ruído na sensibilidade ao contraste. No segundo experimento, foram medidos os limites de detecção para modulações de contraste de segunda ordem (modulado por contraste) dos mesmos dois tipos de ruído. O terceiro experimento foi introdu-

zido como um controle para detecção de banda lateral nos estímulos modulados por contraste. Em resumo, os resultados mostram que a forma da função de sensibilidade modulada por luminância depende do tipo de carreador, com o ruído mascarando os canais seletivos de frequência cujas larguras de banda encolhem ligeiramente com o aumento da frequência. Diferentemente, a forma da função de sensibilidade modulada por contraste não depende do espectro do carreador, sugerindo que o ruído atua apenas como um integrador e não como uma máscara.

A rotina psicofísica utilizada neste estudo experimental apresentava parâmetros muito restritos e altamente controlados, o que necessitava de um tempo de testagem muito longo, aproximadamente 5 horas por participante. Neste primeiro experimento, nosso objetivo foi modificar a rotina psicofísica para parâmetros que permitam uma medida que tivesse uma duração máxima de 30 minutos.

No estudo original (Schofield & Georgeson, 2003), utilizou-se um desenho de escolha forçada de dois intervalos temporais (2IFC), no qual os observadores tiveram que indicar qual dos dois intervalos continha o sinal (LM para o experimento 1 ou CM para o experimento 2) além do ruído, uma vez que o intervalo sem estímulo tinha apenas ruído. Cinco frequências de modulação foram testadas (0,5, 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 cpg). Em cada sessão, com método da escada, foram realizadas duas estimativas de seu limiar de detecção por frequência espacial. Foram realizadas, ainda, duas sessões por experimento, então cada observador contribuiu com quatro estimativas de limiar para cada frequência em cada experimento. A força do sinal variou de acordo com um método de escada 1 para cima e 3 para baixo projetado para determinar 79,4% dos limiares corretos. O tempo médio total de medida foi de 4h50m.

Esse tempo de testagem não permite o uso aplicado desta metodologia. Nosso objetivo foi então, modificar os parâmetros psicofísicos que permitissem a obtenção de resultados semelhantes, mas que permitissem a aplicação futura dessa medida de contraste visual. Reduzimos o número de medidas e o passo psicofísico de 3:3 para 1:1, realizando ajustes de amplitude da modi-

ficação para garantir uma porcentagem de acerto do limiar semelhante. O resultado esperado foi de uma redução significativa do tempo total, ou seja, aproximadamente 30 minutos.

Métodos

Sujeitos

Os participantes deste estudo foram dois pesquisadores experientes em medidas psicofísicas, os autores do trabalho e um participante ingênuo sobre os objetivos do experimento. Todos tinham acuidade visual expressa em fração de Snellen de 20/20 ou melhor, corrigida caso necessário, atestaram a ausência de doenças oftalmológicas, neurológicas e psiquiátricas, bem como o uso de medicação de efeito no sistema nervoso central. As medidas foram realizadas binocularmente, em sala escurecida.

Equipamento e estímulo

Os estímulos e as rotinas psicofísicas foram gerados em um computador iMAC OS X 24.5", resolução de 1280x800 com uma taxa de atualização de 60Hz, (versão 10.8.5, processador intel Core i5, 2.5GHz – Cupertino, Califórnia, USA). Utilizamos o programa de psicofísica Psykinematix (versão 1.6, KyberVision Japan LLC, Myagi, Japan). O sistema foi calibrado por uma rotina de calibração presente no programa, consistindo em correção gama para todos os LEDs – vermelho, verde e azul, além do branco e correção de coordenadas cromáticas. Utilizamos um luminancímetro e medidor cromático Minolta CS-100 (Konica Minolta Sensing Americas, Inc., USA). Para a geração de níveis de contraste suficientes para serem utilizados em medidas de sensibilidade ao contraste, utilizamos uma rotina de *bit-stealing* capaz de gerar 11,4 bits de luminância (2048 níveis de contraste) sem a necessidade de aquisição de placas gráficas externas.

A medida de sensibilidade ao contraste será realizada para cinco frequências espaciais em progressão por oitavas (0,5, 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 ciclos por grau de ângulo visual – cpg) de ondas senoidais de perfil de luminância. A orientação das grades de ondas senoidais foi de 90° (vertical), a fase de 0° com contraste inicial de 50%.

O ruído espacial de luminância testado teve dois perfis: ruído Branco e ruído Rosa. O ruído branco é um ruído binário de pixels claros e escuros, com um perfil espectral plano para todas as frequências espaciais (Figura 1B). O ruído rosa (Figura 1A) é um derivado do ruído branco por modificações nas características de amplitude e filtragem espacial do ruído binário original, respeitando a seguinte função.

$$R = \frac{1}{f}$$

Sendo f a frequência espacial definida no domínio das Transformadas de Fourier multiplicadas pela amplitude também obedecendo a função $1/A$. Como resultante, há um maior efeito de filtragem do ruído quanto menor for a frequência espacial.

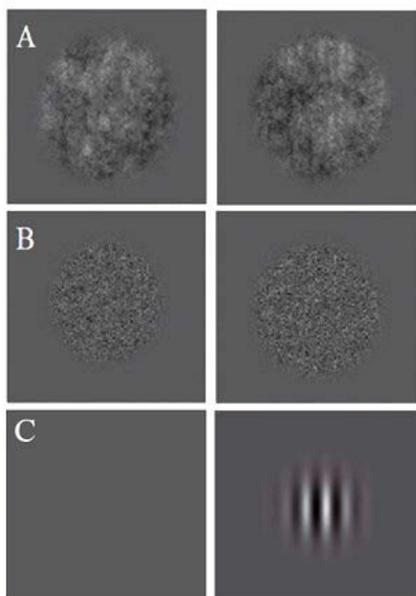


Figura 1 – Representação dos estímulos utilizados em nosso estudo. Os três estímulos têm o mesmo nível de contraste. A frequência espacial presente nos painéis da direita representa 4cpq. As imagens na linha A mostram apenas um ruído rosa, à esquerda, e um estímulo composto por ruído rosa integrando modulação por contraste de uma grade de onda senoidal. De forma semelhante temos na linha B, no painel da esquerda um exemplo do ruído branco apenas e no quadro da direita um ruído branco modulado por contraste de uma grade senoidal. Na linha C temos o contraste de primeira ordem. O ruído branco (B) apresenta componentes de alta frequência espacial por se tratar de um estímulo binário, enquanto o ruído rosa (A), tem uma representação fractal pela integração entre frequência e amplitude.

A área visual de estimulação tanto para o ruído como para a associação de grade senoidal e de ruído tinham tamanho de 5,72 graus de ângulo visual, para uma distância de testagem de 60cm. Ambos os estímulos foram filtrados por uma gaussiana com diâmetro de 5,0 graus e corte de 1 sigma de sinal em 0,72 graus. Esse procedimento é necessário para a suavização das bordas entre o estímulo e o fundo de luminância média (105 cd/m²) evitando artefatos de borda dos estímulos.

Procedimento

Utilizamos um método de julgamento comparativo de escolha forçada temporal de 2 intervalos (2iFC), no qual o participante julgava em qual dos dois estímulos variando no tempo, primeiro ou segundo, se encontrava a associação frequência espacial e ruído. Os estímulos foram apresentados por 555ms, com um aparecimento em perfil de semicosseno sendo 111ms de aparecimento (*onset*) e 111ms de desaparecimento (*offset*), permanecendo por 333ms em contraste máximo. Esse procedimento de aparecimento em perfil de semicosseno é utilizado para a suavização de componentes de alta frequência temporal que interferem nas respostas de apresentação rápida. Entre os estímulos houve um intervalo com tela de luminância média, cuja duração era de 555ms de acordo com o trabalho de Schoefield e Georgeson (2003). Após esse período, o participante tinha um tempo de resposta de 3.000ms.

A sensibilidade ao contraste foi medida por um procedimento de escada psicofísica a qual foi modificada de passo assimétrico, três respostas corretas seguidas para diminuição do contraste e 1 resposta errada para aumento do contraste (3 down – 1 up), para um passo simétrico de 1:1 (1 down-1 up). Outra modificação foi na distância da redução de contraste. Originalmente, o contraste variava em passos de 1,0%. Em nosso experimento, buscamos ampliar a velocidade de aproximação à zona da sensibilidade fazendo com que nas três primeiras reversões o valor de diminuição do contraste fosse de 50% da diferença de contraste entre o estímulo respondido e o fundo (Wichmann & Hill, 2001). Nas seis reversões seguintes, bus-

cando uma significativa resolução de medida da sensibilidade, o valor de decréscimo foi de 12,5% de contraste. Para o acréscimo de contraste o valor sempre se manteve fixo em 25% de contraste. A sensibilidade ao contraste foi definida pela média aritmética dos vales das últimas seis reversões, uma vez que os passos de contraste foram assimétricos, delimitando a determinação em 74,7% dos limiares corretos. O valor de contraste do ruído foi mantido fixo em 50%.

As frequências espaciais foram apresentadas em ordem aleatória e a medida toda constou de quatro blocos de testagem. Esse procedimento ocorreu tanto para o protocolo para ruído branco como para o protocolo para ruído rosa. Uma medida de sensibilidade ao contraste de primeira ordem, ou seja, sem ruído, foi realizada como medida de parâmetro de sensibilidade máxima para cada participante.

Análise dos dados

Tabela 1 – Valores do trabalho de Schoefield e Georgeson (2003) e valores individuais e médio dos três participantes de nosso estudo

Frequências Espaciais	Schoefield e Georgeson (2003)	MFC	OCP	LDH	Média*	T-test p-value
<i>Primeira ordem</i>						
0,5cpg	120,0	142,9	204,1	185,2	177,4	(0,82; 0,091)
1,0cpg	220,0	250,0	243,3	227,3	240,2	(1,10; 0,222)
2,0cpg	390,0	333,3	252,2	400,0	328,5	(1,12; 0,087)
4,0cpg	340,0	333,3	295,0	239,8	289,4	(1,02; 0,090)
8,0cpg	170,0	142,9	156,3	147,1	148,7	(0,86; 0,131)
<i>Segunda ordem</i>						
<i>Ruído branco</i>						
0,5cpg	13,6	11,7	8,3	9,8	9,9	(0,81; 0,136)
1,0cpg	12,9	8,3	9,9	7,2	8,5	(0,81; 0,129)
2,0cpg	8,0	9,4	11,9	9,3	10,2	(0,76; 0,211)
4,0cpg	5,0	7,1	9,7	9,0	8,6	(0,81; 0,163)
8,0cpg	3,5	5,0	5,0	3,0	4,3	(0,72; 0,321)

Os valores de sensibilidade ao contraste foram descritos por meio de média e desvio padrão, para cada frequência espacial nas condições de medida de primeira ordem e nas condições de segunda ordem para ruído branco e rosa. Os valores obtidos de sensibilidade ao contraste foram comparados com os resultados do trabalho original (Schofield & Georgeson, 2003) por um teste de diferença de médias, análogo ao teste *t* de Student com valor de significância de 5%.

Resultados

Os valores médios de sensibilidade ao contraste dos participantes são mostrados na Tabela 1. Os resultados dos três participantes estão comparados aos valores médios dos resultados do trabalho anterior. Claramente, eles foram muito semelhantes aos resultados obtidos pelo experimento de Schoefield e Georgeson (2003).

Frequências Espaciais	Schoefield e Georgeson (2003)	MFC	OCP	LDH	Média*	T-test p-value
<i>Ruído rosa</i>						
0,5cpg	7,8	9,1	4,1	6,4	6,5	(0,75; 0,335)
1,0cpg	6,3	5,4	6,7	7,3	6,5	(0,58; 0,672)
2,0cpg	5,0	6,7	7,9	6,8	7,1	(1,06; 0,099)
4,0cpg	9,0	10,0	12,0	10,0	10,7	(0,98; 0,206)
8,0cpg	10,4	13,0	11,1	11,0	11,7	(1,01; 0,216)

Comparações estatísticas entre os valores médios obtidos em nosso experimento e os valores do experimento referência não mostraram diferenças estatísticas (Tabela 1 – Coluna da Extrema Direita) para nenhuma das frequências espaciais testadas.

O tempo médio de testagem das três medidas de sensibilidade para os três participantes foi de 30 minutos.

Discussão

Os valores dos três participantes estão muito próximos dos valores encontrados no estudo original, como mostrados na Tabela 1. Essa semelhança grande entre os estudos mostra que as modificações metodológicas realizadas em nosso trabalho possibilitaram o encurtamento do tempo de medida, sem prejuízo dos valores de sensibilidade ao contraste esperados pelo experimento de Schoefield e Georgeson (2003). A modificação da proporção de contraste para incremento e decremento, nas três primeiras reversões, se mostrou eficiente para permitir uma determinação rápida da zona da sensibilidade. Assim, com apenas seis outras reversões foi possível identificar satisfatoriamente a sensibilidade final.

O resultado semelhante obtido pelo participante LHD, que é um participante experiente em testes psicofísicos para medidas de visão de cores, mas não tinha conhecimento dos propósitos de nosso estudo, atesta, em princípio, a viabilidade deste protocolo para uma aplicação mais ampliada.

Estes resultados individuais, semelhantes aos obtidos no estudo original, nos motivaram a seguir para um segundo experimento, o qual buscou a

validação deste teste, a definição de valores de normalidade para estas funções, viabilizando-o para uma possível aplicação clínica.

Experimento 2

Neste experimento, testamos participantes adicionais com dois objetivos específicos, a validação da medida para participantes sem experiência em medidas psicofísicas, e a criação de limites de tolerância para definição de valores de normalidade, visando disponibilização para a aplicação clínica desse teste.

As condições experimentais foram semelhantes a do experimento 1, ocorrendo no mesmo local físico e considerando e respeitando as mesmas recomendações e instruções oferecidas anteriormente.

Métodos

Sujeitos

Os participantes deste estudo foram quatorze indivíduos voluntários ingênuos à pesquisa com idade entre 18 e 45 anos (média= 23,3 anos ($\pm 6,9$)). Todos eles tinham acuidade visual fração de Snellen de 20/20 ou melhor, corrigida caso necessário, atestaram a ausência de doenças oftalmológicas, neurológicas e psiquiátricas, bem como o uso de medicação de efeito no sistema nervoso central. Os critérios de inclusão foram, além da AV normal, o não uso de medicamento de efeito no sistema nervoso central e a ausência de doenças descritas, o uso de lentes refrativas com grau menor que 2,00 dioptrias esféricas,

incluindo o equivalente esférico de graus de astigmatismo, a autodeclaração de não usar regularmente bebidas estimulantes (mais de uma dose por dia e três doses por semana), não ser fumante (critério de dois cigarros por dia e cinco cigarros na semana), não utilizar bebidas alcoólicas (critério dois doses por dia de destilado e cinco na semana) e não utilizar drogas ilícitas.

Os participantes foram recrutados entre os alunos e os funcionários da Universidade de São Paulo e da Universidade Paulista e deveriam preencher os critérios de inclusão. O estudo pertence ao Projeto de Pesquisa de Desenvolvimento de Medidas Psicofísicas, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos do Instituto de Psicologia (CAAE: 66767317.5.0000.5561) e seguiu todas as diretrizes da Declaração de Helsinki de 1964 e demais atualizações. O termo de consentimento livre e esclarecido foi obtido de todos os participantes.

Equipamento e estímulo

Os parâmetros utilizados foram exatamente os mesmos utilizados no Experimento 1, inclusive o local, os equipamentos e as condições de testagem. Nenhuma modificação adicional foi realizada.

Análise dos dados

Os valores de sensibilidade ao contraste foram descritos por meio de média e desvio padrão, para cada frequência espacial nas condições de medida de primeira ordem e nas condições de segunda ordem para ruído branco e rosa. A comparação entre as diferenças das médias foi calculada por uma Análise de Variância de Medi-

das Repetidas de 1 Fator, covariando a ordem de testagem. As diferenças calculadas foram identificadas por uma análise *pos-hoc* pelo teste de Fisher LSD, por ser consideradamente conservador. A replicabilidade da medida foi testada pelo método de *Spearman-Brown Split-Half Reliability Coefficient*, uma forma alternativa de calcular a confiabilidade de uma medida. Se a medida for perfeitamente confiável, esperaríamos que as duas metades fossem perfeitamente correlacionadas (ou seja, $r = 1,0$), de acordo com a fórmula:

$$r_{sh} = \frac{2 * r_{xy}}{(1 + r_{xy})}$$

no qual, r_{sh} é o coeficiente de split-half reliability e r_{xy} representa a correlação entre as duas metades dos dados. Para todos os testes o valor de significância foi mantido em 5%.

Os Limites de Tolerância foram calculados com base na seguinte equação:

$$L = M \pm (k * DP)$$

onde L são os Limites de tolerância, M é a média da amostra, k é o fator de multiplicação corrigido pelo número de participantes da amostra para um limite que abrange 95% da população com 95% de confiabilidade (Dixon & Massey, 1969) e DP é o desvio padrão amostral.

Resultados

Todos os participantes concluíram a testagem e o tempo médio foi de 31 minutos (± 3). Os valores médios de sensibilidade ao contraste, para as medidas de primeira ordem e de segunda ordem para ruído branco e rosa, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores estatísticos descritivos obtidos em nossos participantes (n= 14) para as medidas de primeira-ordem e segunda-ordem

Teste	0,5cpg	1,0cpg	2,0cpg	4,0cpg	8,0cpg
Primeira ordem	156,5 (45,9)*	244,45 (64,8)	280,65 (85,4)	270,22 (76,1)	168,18 (21,4)
Segunda ordem					
Ruído rosa	6,26 (1,66)	6,4 (0,9)	7,95 (1,6)	11,18 (1,85)	13,8 (4,2)
Ruído branco	9,92 (2,26)	9,98 (1,93)	9,99 (1,9)	8,09 (1,93)	4,82 (1)

* Média (desvio padrão)

A análise estatística mostrou que há diferenças entre todas as frequências espaciais para os valores de sensibilidade ao contraste de primeira ordem e de segunda ordem (0,5cpg $F=123,73$, $p<0,001$; 1,0cpg $F=68,68$, $p<0,001$; 2,0cpg $F=101,78$, $p<0,001$; 4,0cpg $F=120,04$, $p<0,001$; 8,0cpg $F=627,99$, $p<0,001$). O valor do tamanho do efeito encontrado foi muito alto (parcial $h^2 = 0,86$). Assim, os resultados da sensibilidade ao contraste de segunda ordem são significativamente menores do que os de primeira ordem. Esses resultados são sistematizados na Figura 2.

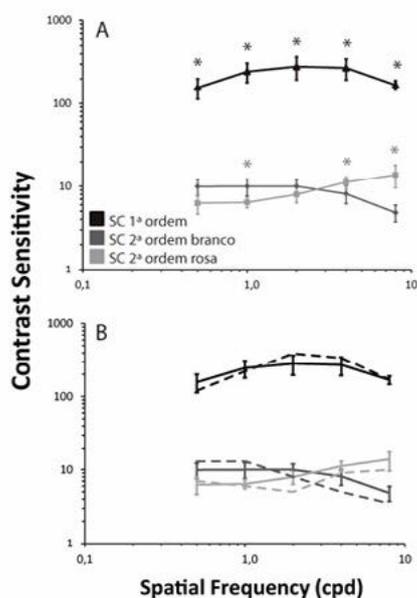


Figura 2 – Função de Sensibilidade ao Contraste de primeira ordem e de segunda ordem com carreadores por ruído branco e ruído rosa. Em A, temos os resultados obtidos em nossa amostra, e em B, temos os nossos resultados – linha contínua, e os resultados do trabalho original de Schofield e Georgeson (2003) – linha pontilhada. Os resultados entre as medidas são muito semelhantes. Os asteriscos pretos (*) mostram as diferenças estatísticas entre os resultados de primeira ordem e segunda ordem por ruído branco e rosa, enquanto o asterisco cinza (*) mostra as diferenças estatísticas entre as medidas de segunda ordem por ruído branco e por ruído rosa.

Entre as medidas de segunda ordem encontramos valores estatisticamente significativos maiores de sensibilidade ao contraste para as frequências espaciais de 1,0 e 2,0cpg, para as medidas em ruído branco (1,0cpg $F=7,08$, $p<0,002$; 2,0cpg $F=1,02$, $p<1$). Os valores de sensibilidade ao contraste para as frequências 4,0 e 8cpg foram significativamente maiores para os obtidos na condição de ruído rosa (4,0 cpg $F=1,09$, $p<0,9$; 8cpg $F=15,25$, $p<0,001$). Para a frequência espacial de 0,5cpg não há diferença estatística (0,5cpg $F=2,644$, $p<0,12$). Esses resultados mostram que os diferentes ruídos interagem de forma diferente com diferentes tipos de frequência espacial.

O resultado do *Split-Half Reliability Coefficient* foi de $r = 0,90$ – 0,5cpg; $r = 0,84$ – 1,0cpg; e $r = 0,91$ – 2,0 cpg; $r = 0,97$ – 4,0cpg; $r = 0,96$ – 8,0cpg; para as medidas de sensibilidade ao contraste de primeira ordem, $r = 0,95$ – 0,5cpg; $r = 0,89$ – 1,0cpg; e $r = 0,97$ – 2,0cpg; $r = 0,94$ – 4,0cpg; $r = 0,97$ – 8,0cpg; de segunda-ordem ruído branco, e $r = 0,96$ – 0,5cpg; $r = 0,98$ – 1,0cpg; e $r = 0,85$ – 2,0 cpg; $r = 0,96$ – 4,0cpg; $r = 0,95$ – 8,0cpg para o ruído rosa. Estes altos valores atestam a ótima replicabilidade do nosso teste para aplicação.

Com a proposta de aplicação clínica deste protocolo de medidas psicofísicas de sensibilidade ao contraste de segunda ordem, valores de tolerância foram calculados para atuar como normas do teste para uso clínico. Com base em nossa amostra, o valor de k utilizado foi 2,03 (Tabela 3).

Tabela 3 – Limites de Normalidade definidos para as medidas de primeira ordem e de segunda ordem para ruído branco e ruído rosa

Teste	0,5cpg	1,0cpg	2,0cpg	4,0cpg	8,0cpg
<i>Primeira ordem</i>					
Limite superior	244,19	374,1	451,44	422,49	210,88
Limite inferior	68,87	114,8	109,86	117,95	125,49
<i>Segunda ordem</i>					
Ruído rosa					
Limite superior	9,58	8,18	11,23	14,88	22,41
Limite inferior	2,93	4,61	4,68	7,47	5,32
Ruído branco					
Limite superior	14,42	14,73	13,87	11,96	7,01
Limite inferior	5,39	5,23	6,11	4,22	2,63

Obtivemos um resultado semelhante ao de Schofield (Schofield & Georgeson, 2003) quando comparados graficamente (Figura 3 – Diferenças estatísticas na coluna da direita da Tabela 1). Alcançamos a proximidade com os resultados obtidos pelos autores. É visível que o desvio padrão abrange a área dos dados originais, sendo assim, obtendo um resultado extremamente favorável para o nosso teste.

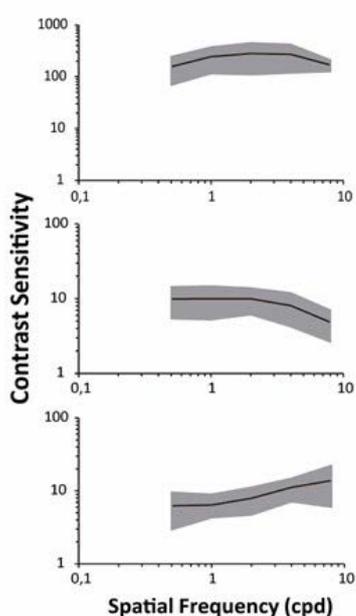


Figura 3 – Faixa de normalidade obtida pelos limites de tolerância para as três medidas realizadas, primeira ordem (A), segunda ordem por ruído branco

(B) e segunda ordem por ruído rosa (C). As linhas centrais em preto são os valores médios obtidos em nossa população. Valores dentro dos limites são considerados representativos de 95% população com erro de 5% para cada frequência espacial.

Discussão

A possibilidade de aplicação clínica de nosso teste apresenta validade e replicabilidade significativas considerando as características de nossa amostra. Independentemente do número ainda reduzido de participantes, a semelhança dos resultados do nosso experimento adaptado para uma aplicação mais rápida com os resultados do trabalho original (Schofield & Georgeson, 2003) demonstram o sucesso em nossa adaptação psicofísica.

Para proporcionar viabilidade de aplicação, foram definidos os valores de normalidade com base nos determinantes estatísticos produzindo os limites de tolerância (Dixon & Massey, 1969). As regras estatísticas permitiram que tais limites fossem corrigidos pelo número de sujeitos de nosso experimento, considerando uma abrangência de 95% da população com uma confiabilidade estatística também de 95%.

Discussão geral

O objetivo principal da pesquisa foi modificar um teste experimental para medida de Sensibilidade ao Contraste de segunda ordem para uma possível aplicação dessa medida e validar essa nova medida, possibilitando a avaliação dessa função, em duas condições de interação, por estarem carregadas por ruídos espaciais de luminância branco e rosa. O primeiro experimento se deteve na modificação metodológica dos parâmetros e das rotinas psicofísicas, permitindo uma testagem mais rápida com a mesma fidedignidade dos resultados. No segundo experimento, ampliamos a amostra da testagem para análise da consistência interna e definição dos limites de normalidade para uso clínico desta medida. A medida de sensibilidade ao contraste tradicionalmente realizada, primeira ordem, foi medida como parâmetro de controle da função visual dos participantes.

O investimento em metodologias para o estudo da sensibilidade ao contraste de segunda ordem é de significativa importância dado que são processadas por diferentes áreas cerebrais. As medidas de sensibilidade ao contraste de primeira ordem são processadas pela via visual primária, com a organização de seus campos receptivos alongados e orientados espacialmente, presentes desde a retina até o córtex visual primário (Watson, 1992; Yang, Wang, Zhang, Zhu, & Yu, 2019; Zheng et al., 2019). Estímulos de segunda ordem são processados a partir das áreas primárias. Estímulos concêntricos e angulares aparecem em V2 e V3 (Santos, Oliveira, Nogueira, & Simas, 2006; Zana & Cavalcanti, 2005), enquanto que estímulos mais complexos, como os que utilizamos processados em MT (Temporal Medial) (Tsui & Pack, 2011). Assim, a diferença da medida de sensibilidade ao contraste de primeira para a segunda ordem pode nos ajudar a entender como os diferentes níveis de experiência perceptual se relacionam com as diferentes áreas cerebrais. Além disso, diferenças entre essas medidas podem ajudar a entender diferentes mecanismos de doenças que afetam o sistema visual e o sistema nervoso central.

Estudos com estímulos de segunda ordem estão também sendo realizados para outras funções visuais, principalmente tridimensionalidade por visão binocular, a estereopsia (Adams & Zeki, 2001) e a percepção de movimento (Aaen-Stockdale & Bowns, 2006; Aaen-Stockdale, Ledgeway, McGraw, & Hess, 2012; Allard & Faubert, 2013).

Uma importante diferença entre os resultados de primeira e segunda ordem está na forma da curva da função de contraste. Enquanto a sensibilidade ao contraste tem uma forma de u invertido, chamada de banda de passagem, cujo pico de sensibilidade ocorre nas frequências espaciais médias (em torno de 2cp/g), as medidas de segunda ordem apresentam uma sensibilidade considerada que muda de acordo com o carreador, sendo passa-baixa, ou seja, com maior sensibilidade para baixas frequências espaciais, diminuindo significativamente para frequências mais altas. Para os estímulos com carreador de ruído rosa, há uma ampliação da sensibilidade ao contraste progressivamente maior para as frequências superiores a de 3cp/g. Essa diferença de comportamento da função de sensibilidade é uma assinatura psicofísica de nossa percepção espacial para estímulos complexos. Essas diferenças de mecanismos são ainda pouco conhecidas e futuros estudos poderão elucidar tais mecanismos.

Obtivemos também uma diferença significativa entre visão de primeira e segunda ordem e, isso se dá porque a visão de primeira ordem não necessita de processamentos complexos do sistema visual. Essa diferença, cujo pico está para a frequência espacial de 2,0cp/g, supostamente se dá pelo aumento de níveis de processamento o que, necessariamente, significa maior nível de filtragem e de eliminação de informações não relevantes para determinada construção perceptual, efeito também observado no experimento original. Isto é evidente quando comparamos os resultados de sensibilidade ao contraste de segunda ordem carregado por ruídos branco e por ruídos rosa. O contraste para ruído branco teve maior sensibilidade perceptual para a menor frequência testada (0,5cp/g), enquanto a frequên-

cia mais alta testada (8,0cp/g) apresentou menor valor de SC. Este perfil de redução significa que o ruído branco foi mais eficiente em interferir com o processamento das altas frequências. Já o ruído rosa, tem um perfil oposto com menores valores de SC para a frequência de 0,5cp/g e de maiores valores de SC na frequência de 8,0cp/g. Essa redução mais intensa para as baixas frequências espaciais está em acordo com experimentos envolvendo discriminação de textura (Kawabe & Miura, 2005), julgamento de forma com base em textura (Schofield, Curzon-Jones, & Hollands, 2017), sugerindo que para análises de maior complexidade espacial, as baixas frequências são filtradas e pouco contribuem para essa representação perceptual.

A versão experimental da qual nos baseamos (Schofield & Georgeson, 2003) tinha um aspecto experimental cujo objetivo era identificar as assinaturas psicofísicas das funções de sensibilidade ao contraste de segunda ordem. Pela característica experimental o extremo rigor metodológico, com um método de escada de 1:3 (1 up:3 down) com ganho ou perda de contraste de 1% sendo necessárias oito reversões com algumas baterias de testes, duravam extensos períodos de tempo, impraticável para uma aplicação mais global. Desta forma, a nossa intervenção metodológica modificando assimetricamente o nível de contraste reduzido nas reversões iniciais permitiu que alcançássemos os mesmos valores e a consistência interna do teste original. Temos, portanto, um novo teste que mede com rapidez e confiança a função visual de contraste complexo que, a partir de agora, poderá ser utilizado para estudos clínicos, nos quais a medida da sensibilidade ao contraste de segunda ordem seja desejada.

Considerações finais

Certamente, temos algumas limitações evidentes em nosso estudo, mas que não diminuem a importância dos resultados obtidos, mas são importantes para pensarmos as propostas futuras. A idade dos nossos participantes para a definição de valores normativos necessita ser mais bem refinada. Esse aspecto está intimamente ligado

a outros aspectos que impõem um cuidado no uso de nossas normas atuais, que é o número de participantes. Embora os limites de normalidade tenham sido realizados com base em fundamentos estatísticos (Dixon & Massey, 1969), a faixa de idade está centrada em adultos e adultos jovens, o que necessitaria que valores normativos fossem criados em faixas de idade de aproximadamente cinco anos. Ainda, o número de participantes deverá ser ampliado para que possamos ter ao menos 30-35 por faixa de idade. É com base nessas limitações que estamos desenvolvendo estudos futuros buscando: (a) ampliar o número de participantes para aumentar a resolução em idade; (b) ampliar a faixa de idades coberta pelas normas até idades maiores de 45 e menores de 18 anos; e (c) esta medida tem grande potencial de aplicação para o entendimento do desenvolvimento desses mecanismos básicos visuais e, também, estudos aplicando a metodologia desenvolvida neste estudo a diversas patologias como Alzheimer, Parkinson, Autismo, Esquizofrenia, Dislexia, Abuso de Álcool e Drogas entre outras que já têm demonstrado impactos na função visual.

Nossos dois experimentos cumprem os objetivos de desenvolver e validar um método de medida de sensibilidade ao contraste de segunda ordem para aplicação clínica. Este teste trará medidas inovadoras no campo da pesquisa básica e aplicada da percepção visual de espaço.

Financiamento

Esta pesquisa teve o apoio FAPESP Projeto Temático (2014/ 26818-2), FAPESP Auxílio Regular (2013/04049-4), CNPq Bolsa de Produtividade em Pesquisa (302552/2017-0).

Conflito de interesse

Os autores não apresentam conflitos de interesse.

Referências

Aaen-Stockdale, C. & Bowns, L. (2006). Motion-detection thresholds for first- and second-order gratings and plaids. *Vision Research*, 46(6-7), 925-931. S0042- <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.10.006>

- Aaen-Stockdale, C., Ledgeway, T., McGraw, P., & Hess, R. F. (2012). Interaction of first- and second-order signals in the extraction of global-motion and optic-flow. *Vision Research*, 68, 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.07.004>
- Adams, D. L. & Zeki, S. (2001). Functional Organization of Macaque V3 for Stereoscopic Depth. *Journal of Neurophysiology*, 86(11), 3195-2202. <https://doi.org/10.1152/jn.2001.86.5.2195>
- Allard, R. & Faubert, J. (2013). No second-order motion system sensitive to high temporal frequencies. *Journal of Vision*, 13(5). <https://doi.org/10.1167/13.5.4>
- Amesbury, E. C. & Schallhorn, S. C. (2003). Contrast Sensitivity and Limits of Vision. *International Ophthalmology Clinics*, 43(2), 31-42. <https://doi.org/10.1097/00004397-200343020-00006>
- Atkinson, J., Braddick, O. & Braddick, F. (1974). Acuity and Contrast Sensitivity of Infant Vision. *Nature*, 247(5440), 403-404. <https://doi.org/10.1038/247403a0>
- Banks, M. S. & Salapatek, P. (1976). Contrast Sensitivity Function of Infant Visual-System. *Vision Research*, 16(8), 867-869. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(76\)90147-4](https://doi.org/10.1016/0042-6989(76)90147-4)
- Barbot, A., Landy, M. S., & Carrasco, M. (2012). Differential effects of exogenous and endogenous attention on second-order texture contrast sensitivity. *Journal of Vision*, 12(8). Doi:10.1167/12/8/6
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., Chapo, A. K., Fast, K., Yee, J. H., Hoffman, H., & J., Snyder, D. J. (2004). From psychophysics to the clinic: missteps and advances. *Food Quality and Preference*, 15(7-8), 617-632. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.05.007>
- Bedwell, J. S., Chan, C. C., Cohen, O., Karbi, Y., Shamir, E., & Rassevsky, Y. (2013). The magnocellular visual pathway and facial emotion misattribution errors in schizophrenia. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 44, 88-93. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2013.01.015>
- Beige, J. B., Maurage, P., Mangelinckx, C., Leleux, D., Delatte, B., & Constant, E. (2017). Facial decoding in schizophrenia is underpinned by basic visual processing impairments. *Psychiatry Research*, 255, 167-172. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.04.007>
- Bourne, J. A., Lui, L., Tweedale, R., & Rosa, M. G. (2004). First- and second-order stimulus length selectivity in New World monkey striate cortex. *Eur. Journal of Neuroscience*, 19(1), 169-180. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2004.03082.x>
- Brown, A. M., Opoku, F. O., & Stenger, M. R. (2018). Neonatal Contrast Sensitivity and Visual Acuity: Basic Psychophysics. *Translational Vision Science & Technology*, 7(3), 1-13. <https://doi.org/10.1167/tvst.7.3.18>
- Brown, J. M., Breitmeyer, B. G., Hale, R. G., & Plummer, R. W. (2018). Contrast Sensitivity Indicates Processing Level of Visual Illusions. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 44(10), 1557-1566. <https://doi.org/10.1037/xhp0000554>
- Butler, P. D., Zemon, V., Schechter, I., Saperstein, A. M., Hoptman, M. J., Lim, K. O., & Javitt, D. C. (2005). Early-stage visual processing and cortical amplification deficits in schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry*, 62(5), 495-504. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.62.5.495>
- Costa, M. F. (2011). Clinical Psychophysical Assessment of the ON- and OFF-Systems of the Magnocellular and Parvocellular Visual Pathways. *Neuroscience & Medicine*, 2, 330-340. <https://doi.org/10.4236/nm.2011.24043>
- Dixon, W. J. & Massey, F. J. (1969). *Introduction to Statistical Analysis* (3rd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Dovencioğlu, D. N., Welchman, A. E., & Schofield, A. J. (2013). Perceptual learning of second order cues for layer decomposition. *Vision Research*, 77, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.11.005>
- Dumoulin, S. O., Baker, C. L., Jr., Hess, R. F., & Evans, A. C. (2003). Cortical specialization for processing first- and second-order motion. *Cereb. Cortex*, 13(12), 1375-1385. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhg085>
- Dutta, P. & Horn, P. M. (1981). Low-frequency fluctuations in solids:1fnoise. *Reviews of Modern Physics*, 53(3), 497-516. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.53.497>
- Field, D. J. (1987). Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells. *Journal of the Optical Society of America*, 4(12), 2379-2394. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.4.002379>
- Ginsburg, A. P. (2003). Contrast sensitivity and functional vision. *Int Ophthalmol Clin*, 43(2), 5-15. <https://doi.org/10.1097/00004397-200343020-00004>
- Kawabe, T. & Miura, K. (2005). Mechanism responsible for texture transparency tunes to second-order structures. *Vision Research*, 45(3), 373-379. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.08.019>
- Kiorpes, L., Kiper, D. C., & Movshon, J. A. (1993). Contrast sensitivity and vernier acuity in amblyopic monkeys. *Vision Research*, 33(16), 2301-2311. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(93\)90107-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(93)90107-8)
- Koh, H. C., Milne, E., & Dobkins, K. (2010). Spatial Contrast Sensitivity in Adolescents with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(8), 978-987. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-0953-7>
- Leguire, L. E., Algaze, A., Kashou, N. H., Lewis, J., Rogers, G. L., & Roberts, C. (2011). Relationship among fMRI, contrast sensitivity and visual acuity. *Brain Research*, 1367, 162-169. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.10.082>
- Mukaddes, N. M., Kilincaslan, A., Kucukyazici, G., Sevketoglu, T., & Tuncer, S. (2007). Autism in visually impaired individuals. *Psychiatry Clin Neurosci*, 61(1), 39-44. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2007.01608.x>
- O'Donnell, B. F., Potts, G. F., Nestor, P. G., Stylianopoulos, K. C., Shenton, M. E., & McCarley, R. W. (2002). Spatial frequency discrimination in schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 111(4), 620-625. <https://doi.org/10.1037//0021-843X.111.4.620>

- Oruc, I., Landy, M. S., & Pelli, D. G. (2006). Noise masking reveals channels for second-order letters. *Vision Research*, 46(8-9), 1493-1506. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.08.016>
- Pelli, D. G. & Farell, B. (1999). Why use noise? *Journal of the Optical Society of America*, 16(3), 647-653.
- Rogowitz, B. E., Huang, P.-C., Pappas, T. N., & Chen, C.-C. (2009). *Pattern masking investigations of the second-order visual mechanisms*. Paper presented at the Human Vision and Electronic Imaging XIV, San Jose, California, United States. <https://doi.org/10.1117/12.805817>
- Santos, N. A., Oliveira, A. B., Nogueira, R. M., & Simas, M. L. (2006). Mesopic radial frequency contrast sensitivity function for young and older adults. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 39(6), 791-794. <https://doi.org/10.1590/S0100-879X2006000600012>
- Schofield, A. J., Curzon-Jones, B., & Hollands, M. A. (2017). Reduced sensitivity for visual textures affects judgments of shape-from-shading and step-climbing behaviour in older adults. *Exp Brain Res*, 235(2), 573-583. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4816-0>
- Schofield, A. J., & Georgeson, M. A. (2003). Sensitivity to contrast modulation: the spatial frequency dependence of second-order vision. *Vision Research*, 43(3), 243-259. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(02\)00542-4](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(02)00542-4)
- Schofield, A. J., Rock, P. B., Sun, P., Jiang, X., & Georgeson, M. A. (2010). What is second-order vision for? Discriminating illumination versus material changes. *Journal of Vision*, 10(9), 2. <https://doi.org/10.1167/10.9.2>
- Silverstein, S., Keane, B. P., Blake, R., Giersch, A., Green, M., & Keri, S. (2015). Vision in schizophrenia: why it matters. *Frontiers in Psychology*, 6: 1-3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00041>
- Simmons, D. R., Robertson, A. E., McKay, L. S., Toal, E., McAleer, P., & Pollick, F. E. (2009). Vision in autism spectrum disorders. *Vision Research*, 49(22), 2705-2739. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.08.005>
- Spiegel, D. P., Reynaud, A., Ruiz, T., Lague-Beauvais, M., Hess, R., & Farivar, R. (2016). First- and second-order contrast sensitivity functions reveal disrupted visual processing following mild traumatic brain injury. *Vision Research*, 122, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2016.03.004>
- Tibber, M. S., Anderson, E. J., Bobin, T., Carlin, P., Shergill, S. S., & Dakin, S. C. (2015). Local and Global Limits on Visual Processing in Schizophrenia. *Plos One*, 10(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218466>
- Tsui, J. M., & Pack, C. C. (2011). Contrast sensitivity of MT receptive field centers and surrounds. *Journal of Neurophysiology*, 106(4), 1888-1900. <https://doi.org/10.1152/jn.00165.2011>
- Watson, A. B. (1992). Transfer of Contrast Sensitivity in Linear Visual Networks. *Visual Neuroscience*, 8(1), 65-76. <https://doi.org/10.1017/S0952523800006507>
- Weinger, P. M., Zemon, V., Soorya, L., & Gordon, J. (2014). Low-contrast response deficits and increased neural noise in children with autism spectrum disorder. *Neuropsychologia*, 63, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.07.031>
- Westrick, Z. M. & Landy, M. S. (2013). Pooling of first-order inputs in second-order vision. *Vision Research*, 91, 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.08.005>
- Wichmann, F. A. & Hill, J. (2001). The psychometric function: I. Fitting, sampling, and goodness of fit. *Perception & Psychophysics*, 63(8), 1293-1313. <https://doi.org/10.3758/BF03194544>
- Wong, E. H. & Levi, D. M. (2005). Second-order spatial summation in amblyopia. *Vision Research*, 45(21), 2799-2809. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.05.020>
- Yang, Y., Wang, Y. J., Zhang, C., Zhu, J. J., & Yu, Y. Q. (2019). Neuroanatomical substrates underlying contrast sensitivity. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 9(3), 503-509. <https://doi.org/10.21037/qims.2019.03.03>
- Zana, Y. & Cavalcanti, C. G. T. (2005). Contrast sensitivity functions to stimuli defined in Cartesian, polar and hyperbolic coordinates. *Spatial Vision*, 18(1), 85-98. <https://doi.org/10.1163/1568568052801618>
- Zeile, A. J., Pokorny, J., Lee, D. Y., & Ireland, D. (2007). Anisometric amblyopia: spatial contrast sensitivity deficits in inferred magnocellular and parvocellular vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 48(8), 3622-3631. <https://doi.org/10.1167/iovs.06-1207>
- Zheng, X. W., Xu, G. H., Wang, Y. Y., Han, C. C., Du, C. H., Yan, W. A., & Liang, R. H. (2019). Objective and quantitative assessment of visual acuity and contrast sensitivity based on steady-state motion visual evoked potentials using concentric-ring paradigm. *Documenta Ophthalmologica*, 139(2), 123-136. <https://doi.org/10.1007/s10633-019-09702-w>

Marcelo Fernandes Costa

Doutor em Neurociências e Comportamento pela Universidade de São Paulo (USP), em São Paulo, SP, Brasil; pós-doutor em Neurociências pela Universidade de Coimbra, em Portugal; livre-docente em Psicologia Sensorial e da Percepção pela Universidade de São Paulo (USP), em São Paulo, SP, Brasil; Professor Associado 2 do Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo (USP), em São Paulo, SP, Brasil.

Otávio Correa Pinho

Graduando de Psicologia pela Universidade Paulista (UNIP), em São Paulo, SP, Brasil; aluno de Iniciação Científica Bolsista PIBIC em Psicofisiologia Sensorial, Instituto de Psicologia, na Universidade de São Paulo (USP), em São Paulo, SP, Brasil.

Endereço para correspondência

Marcelo Fernandes Costa
 Instituto de Psicologia
 Universidade de São Paulo
 Av. Prof. Mello Moraes, 1721
 Butantã, 05508-030
 São Paulo, SP, Brasil