



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Ciências da Saúde

# **Avaliação do efeito oblíquo na visão central**

**João Pedro Calcado Corte Real**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Optometria em Ciências da Visão**

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Paulo Torrão Fiadeiro

Co-orientador: Dr. Pedro Miguel Fernandes Nave Serra

**Covilhã, Outubro de 2012**



## Dedicatória

Aos meus Pais, Irmão e Helena.

## Agradecimentos

A todas as pessoas que estiveram direta ou indiretamente ligadas a este trabalho e que tornaram a sua realização possível. De uma forma especial gostava de agradecer:

- Ao amigo e Prof. Doutor Paulo Torrão Fiadeiro pela grande ajuda, disponibilidade, conselhos e orientação, a sua vasta experiência e conhecimento foi fundamental para a realização de todo o trabalho;
- Ao grande amigo e colega de trabalho, Luís Filipe Antunes Santos que sempre esteve presente e disponível para ajudar a superar todas as tarefas deste trabalho;
- Ao Pedro Miguel Fernandes Nave Serra um agradecimento especial pela sua enorme contribuição neste trabalho, sem ele a sua realização teria sido bastante mais complicada, a sua disponibilidade, os seus conhecimentos e experiência na matéria foram essenciais;
- Ao António de Oliveira Mendes também um agradecimento especial pela sua pronta disponibilidade para ajudar a resolver problemas que surgiram e pela sua contribuição com o desenho em AutoCAD do esquema da montagem experimental implementada neste trabalho pois sem ele a sua realização teria sido bastante mais complicada;
- À Unidade de Detecção Remota (UDR) da Faculdade de Ciências e ao Centro de Óptica (CO) da Universidade da Beira Interior (UBI) pelo apoio logístico e instalações necessários à consecução deste trabalho no âmbito do projeto estratégico da UDR.
- Finalmente uma palavra de apreço aos colegas investigadores do CO da UBI que estiveram sempre disponíveis a ajudar sempre que necessário.

A todos eles sem exceção desejo toda a sorte e sucesso nas vidas profissionais e pessoais.

## Resumo

O objetivo fundamental do trabalho foi avaliar o efeito oblíquo na visão central utilizando franjas de interferência produzidas por um interferômetro desenvolvido e implementado por Santos, 2012. A partir das franjas de interferência produzidas e que são projetadas no olho de um indivíduo, com orientação e contraste variáveis foram medidas e determinadas as Funções Sensibilidade ao Contraste Neurais médias de oito indivíduos. As orientações a estudar foram a 180°, 45°, 90° e 135°, e para cada uma destas orientações foram estudadas frequências espaciais de 2, 4, 6, 12, 18 e 24 cpg. O método psicofísico utilizado para a recolha de dados nas experiências realizadas foi o “*stair-case*” que permite estimar, com base em respostas do tipo SIM/NÃO, os limiares de sensibilidade ao contraste de cada indivíduo. A partir dos resultados obtidos foram construídas curvas representativas da Função sensibilidade ao contraste neuronal média individual. Posteriormente foram feitos testes estatísticos que mostraram a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as diversas frequências espacial mas não entre as quatro orientações estudadas. No entanto, foi verificado significado estatístico quando se consideram as interações frequências vs orientações. Foram ainda realizados outros testes estatísticos para mostrar a variação da sensibilidade ao contraste para as frequências médias e altas. Estes resultados mostram ter significado estatístico quando são consideradas combinações entre as orientações horizontais, verticais e oblíquas. Desta forma, tornou-se evidente a existência do efeito oblíquo na visão central do ser humano que também se mostrou ser mais acentuado com o aumento da frequência espacial. Os objetivos esperados foram plenamente atingidos.

## Palavras-chave

Contraste; Sensibilidade ao Contraste; Função Sensibilidade ao Contraste Neuronal; Visão Central; Interferômetro; Franjas de Interferência; Frequência e Orientação Espaciais; Efeito Oblíquo.

# Índice

Lista de Figuras.....	7
Lista de Tabelas.....	9
Lista de Acrónimos.....	10
1. Introdução .....	11
2. Estado da Arte .....	13
3. Métodos .....	20
4. Resultados e Discussão .....	28
4.1 Análise estatística da SC frequências e orientações .....	28
4.2 Análise do declive - variação da SC nas frequências médias e altas .....	31
4.3 Análise estatística da SC orientação a orientação.....	33
4.4 Análise estatística da SC orientação por frequência - Efeito Oblíquo .....	36
5. Conclusões e Trabalho Futuro.....	39
Referências Bibliográficas.....	41
Anexos .....	43
Anexo 1 .....	43
Anexo 2 .....	45
Anexo 3 .....	46

## Lista de Figuras

**Figura 1** - Curva característica da função de sensibilidade ao contraste para baixas, médias e altas frequências espaciais de indivíduos normais.

**Figura 2** - Os campos recetivos de células simples do córtex visual primário são diferentes e mais variadas do que as dos neurônios na retina e no núcleo geniculado lateral.

**Figura 3** - Campo seletivo das células ganglionares simples projetadas no córtex.

**Figura 4** - Curvas psicofísicas que mostram a presença do efeito oblíquo. Em cima a sensibilidade ao contraste em redes projetadas em monitor e em baixo o limiar de contraste em franjas de interferência.

**Figura 5** - Sensibilidade ao contraste como uma função da frequência espacial para quatro orientações de três indivíduos. ● Vertical ( $0^\circ$ ), ■ Horizontal ( $90^\circ$ ), ▲ Oblíqua ( $45^\circ$ ), ◆ Oblíqua ( $135^\circ$ ).

**Figura 6** - Esquema da montagem experimental.

**Figura 7** - Fotografia tirada durante a realização de um teste.

**Figura 8** - Exemplo da posição pupilar do olho de um indivíduo durante o processo de alinhamento. Os reflexos visíveis na pupila correspondem às 4 fontes de luz infravermelha usada para efeitos de visualização do processo de alinhamento.

**Figura 9** - Imagens dos padrões de franjas de interferência nas 4 orientações testadas com uma frequência espacial de 18 cpg.

**Figura 10** - Esquema do protocolo utilizado para determinar as curvas de FSC-Neuronal. Um protocolo consiste na recolha das respostas para as cinco frequências espaciais numa determinada orientação.

**Figura 11** - O gráfico mostra uma série de respostas para ilustrar a rotina BNSRCH, (N) significa que o indivíduo não identificou o padrão e (Y) o oposto.

**Figura 12** - Gráfico das curvas da FSC média para orientações a  $180^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $135^\circ$ .

**Figura 13** - Traçado do declive para as quatro curvas da FSC média do indivíduo 1.

**Figura 14** - Função de Sensibilidade ao Contraste Neuronal (FSC-Neuronal) média para franjas interferência orientadas a 180°, 45°, 90° e 135° considerando as frequências de 2, 4, 6, 12, 18 cpg.

**Figura 15** - Sensibilidade ao contraste média por frequência espacial, para as orientações 180°, 45°, 90° e 135°.

## Lista de Tabelas

**Tabela 1** - Exemplo de uma sequência de respostas dadas por um indivíduo durante um teste.

**Tabela 2** - Descreve a estatística das diferenças entre as várias frequências, considerando todas as orientações.

**Tabela 3** - Estatística usando o ANOVA 2-Way para as interações entre cinco frequências e quatro orientações.

**Tabela 4** - Descrição da estatística teóricas e efetivas obtida para combinações entre as várias orientações e as frequências espaciais de 4 e 6 cpg com a frequência 18 cpg.

**Tabela 5** - Análise da variação do declive entre frequências espaciais médias e altas para os pares de orientações possíveis. (variação da SC para frequências médias e altas).

**Tabela 6** - Análise estatística da orientação em função da frequência espacial.

**Tabela 8** - Comparação entre frequências espaciais para as orientações 45° e 135° (teste *Post-Hoc*).

**Tabela 7** - Comparação entre frequências espaciais para as orientações 180° e 90° (teste *Post-Hoc*).

**Tabela 9** - Análise estatística do efeito da orientação na SC por frequência espacial.

**Tabela 10** - Análise dos valores da SC entre orientações para cada frequência espacial.

## Lista de Acrónimos

AV - Acuidade Visual

B1, B2 - Feixe de luz laser 1 e 2

BS1, BS2, BS3, BS4, BS5 - Cubos divisores de feixe 1, 2, 3, 4 e 5 (Beamsplitter)

C - Contraste

CO - Centro de Óptica

cpg - Ciclos por grau

CV - Cubo de vidro (frequências espaciais orientadas)

dB - Decibéis

DF1, DF2, DF3 - Divisores de feixe 1, 2 e 3

DI1, DI2 - Detector de Imagem 1 e 2

F - Filtro de densidade neutra

FCS - Faculdade de Ciências da Saúde

FE - Filtro espacial

FS1, FS2 - Diafragma 1 e 2 (Field Stop)

FSC - Função de Sensibilidade ao Contraste

FSC-Neuronal - Função de Sensibilidade ao Contraste Neuronal

FTN - Função de Transferência Neuronal

He-Ne - Laser de Hélio-Néon

L1, L2, L3, L4, L5, L6 - Lentes 1, 2, 3, 4, 5 e 6

M1, M2, M3 - Espelhos 1, 2 e 3 (Mirror)

NGL - Núcleo Geniculado Lateral

P1, P2 - Polarizadores manuais 1 e 2

PA1, PA2 - Polarizadores automáticos 1, 2

SC - Sensibilidade ao Contraste

SH1, SH2 - Obturador electrónico 1 e 2 (Electronic Shutter)

SVH - Sistema Visual Humano

UBI - Universidade da Beira Interior

V1 - Área 1 do córtex visual

# 1. Introdução

Esta dissertação de mestrado está inserida num projeto que foi submetido e aprovado pela Comissão de Ética da Faculdade de Ciências da Saúde (FCS) da Universidade da Beira Interior (UBI), com o título “Medição da Função de Sensibilidade ao Contraste Neuronal - MFSCN”, conforme carta de aprovação que se encontra no Anexo 1). Todos os trabalhos que conduzem à avaliação do efeito oblíquo na visão central foram desenvolvidos nos laboratórios do Centro de Óptica (CO) da Universidade da Beira Interior (UBI) no âmbito do projeto supra mencionado.

O objetivo deste trabalho, como o próprio título desta dissertação expressa, versa a avaliação do efeito oblíquo na visão central. Para alcançar o objetivo foi utilizado um interferómetro visual especificamente desenvolvido e implementado para medir e registar curvas da Função de Sensibilidade ao Contraste Neuronal (FSC-Neuronal) em indivíduos com visão normal (Santos, 2012). Esta avaliação consiste na medição e registo das FSC-Neuronal para um conjunto de estímulos visuais com frequências e orientações espaciais definidas e com base nos resultados obtidos efetuar um estudo estatístico para se compreenderem as variações de sensibilidade ao contraste com a orientação espacial dos estímulos.

Esta dissertação está organizada por capítulos onde são abordados de forma detalhada todos os temas e procedimentos necessários ao cumprimento dos objetivos propostos.

Assim, no capítulo seguinte, identificado por Estado da Arte, é feita referência a alguns dos trabalhos mais importantes já desenvolvidos anteriormente nesta área de investigação por diversos autores. Neste capítulo também se pretende enquadrar o leitor no fenómeno do efeito oblíquo, explicando-se cientificamente esse efeito e introduzindo as definições teóricas necessárias a fim de facilitar a compreensão de todo o trabalho contido nesta dissertação.

No próximo capítulo, identificado por Métodos, apresenta-se de forma detalhada a metodologia utilizada para realizar duas experiências psicofísicas de recolha de dados. Neste capítulo inicialmente está explicado como o interferómetro visual produz e projeta as franjas de interferência com contraste, orientação e frequência espacial variáveis na retina do olho humano. É também explicado o procedimento de alinhamento do interferómetro visual com o indivíduo, assim como o procedimento psicofísico para recolha de dados. Posteriormente é explicado todo o processo experimental das duas experiências realizadas.

Segue-se o capítulo, identificado por Resultados e Discussão, onde se apresentam e discutem os resultados obtidos durante o trabalho seguindo a metodologia descrita no capítulo

anterior. É feito um estudo estatístico exaustivo com propósito de analisar a presença do efeito oblíquo, tentando justificar os resultados estatísticos com as características do efeito.

Finalmente o capítulo, identificado por Conclusões e Trabalho Futuro, faz ponto da situação de todo o trabalho desenvolvido, discutindo-se ainda o que se deve melhorar em trabalhos futuros deixando novas ideias para serem desenvolvidas e exploradas.

## 2. Estado da Arte

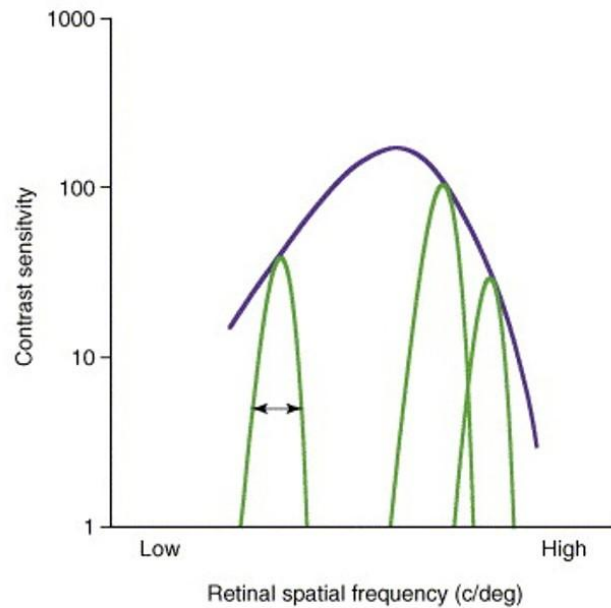
O objetivo deste trabalho é programar um protocolo para a medição da FSC-Neuronal e utilizá-la para avaliar o efeito oblíquo em visão central num conjunto de indivíduos usando para isso um interferómetro visual que projeta na retina do olho humano (visão central) padrões de franjas com diferentes frequências e orientações espaciais e contraste variável.

As medidas de Acuidade Visual (AV) consistem normalmente em distinguir optótipos de alto contraste (objetos pretos sobre um fundo branco), mas no dia-a-dia não existem apenas estímulos de altos contrastes visuais. A maioria dos objetos que nos rodeiam apresenta diferenças graduais de contraste e graus diferentes de iluminação. A Sensibilidade ao Contraste (SC) define-se como sendo o inverso do limite mínimo de contraste que é necessário para se detetar um estímulo com uma dada frequência espacial (Cornsweet, 1970). Assim, a FSC é por definição, o inverso da curva dos limiares de contraste para um conjunto de frequências espaciais distintas.

O contraste é ajustado psicofisicamente para cada padrão (ou estímulo) de frequência espacial num campo homogéneo com uma intensidade média até que o sistema visual o possa discriminar. Em termos gerais, a FSC determina os limiares de contraste (visibilidade de qualquer estímulo) em função da frequência espacial (Cornsweet, 1970). A frequência espacial é definida como sendo o número de ciclos por grau de ângulo visual (cpg). O contraste é definido como a diferença entre a modulação das intensidades máxima e a mínima do estímulo dividido pela soma dessas duas componentes.

A FSC do sistema visual pode ser representada por uma função sinusoidal que traduz a relação da SC em função das frequências espaciais. Por outras palavras, é um gráfico que demonstra a capacidade de resolver um detalhe que fica cada vez mais pequeno e com contraste diminuído. Pois a capacidade de perceber detalhes no ambiente visual é determinada pelo tamanho e contraste do detalhe. O sistema visual atua como um filtro passa-banda que atenua as frequências espaciais muito altas e muito baixas, apresentando um pico máximo entre os 3 e os 6 cpg, depois do pico a SC começa a cair de forma linear com o aumento da frequência espacial, como representado esquematicamente na Figura 1.

A FSC é considerada a descrição mais completa da função visual (Wilson, 1990), pois fornece um sumário rápido e proveitoso da resposta global do sistema visual humano para diferentes padrões de frequências espaciais e caracteriza o processo pelo qual o sistema visual transforma informações das várias frequências espaciais do estímulo de entrada (*input*) em estímulo percebido (*output*).

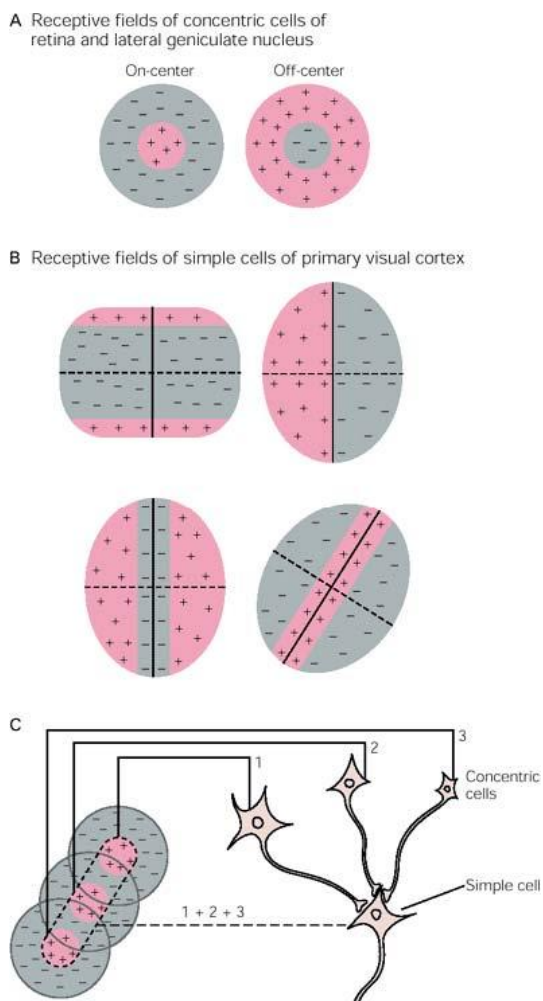


**Figura 1** - Curva característica da função de sensibilidade ao contraste para baixas, médias e altas frequências espaciais de indivíduos normais.  
Retirado e adaptado de: (Sowden and Schyns, 2006)

Uma vez apresentado o significado de função de sensibilidade ao contraste, torna-se agora necessário efetuar o enquadramento do efeito oblíquo na visão.

Como se sabe o sistema visual do ser humano é o mais importante e complexo instrumento de obtenção de informação sobre o mundo que o rodeia. O sistema visual tem uma particularidade que já é estudada desde a década de 60. Essa particularidade prende-se com o facto do sistema visual detetar mais facilmente imagens padrões cuja sua orientação seja horizontal ou vertical ao invés de padrões com orientação oblíqua. Este fenómeno do sistema visual é denominado por efeito oblíquo (Appelle, 1972). Inicialmente através da realização de medições da SC e posteriores comparações foi mostrado que o efeito oblíquo não era uma consequência da óptica do olho (Campbell et al., 1966, Campbell and Kulikows.Jj, 1966). Campbell com a primeira experiência psicofísica que realizou para estudar este efeito, mostrou a existência desta característica do efeito oblíquo, tendo obtido medições dos limiares do contraste para padrões de franjas com uma distribuição de luz de forma sinusoidal geradas num osciloscópio. Estes padrões de franjas podiam ter frequências espaciais e contraste variável, mantendo a sua intensidade média constante. Campbell utilizou indivíduos com a pupila do olho dilatada e cuja refração foi cuidadosamente corrigida, para determinar os limiares de contraste de observação de franjas, com frequências espaciais a variar entre 1 e 35 cpg e orientadas nas posições vertical, horizontal e oblíqua, respetivamente. Comparou os resultados das medições para as diferentes orientações e observou que o limiar de contraste para as orientações horizontal e vertical era menor do que para a orientação oblíqua. Posteriormente, e no mesmo trabalho, a fim de mostrar que os fatores ópticos não interferem no efeito oblíquo, foi medido o limiar de contraste através da formação de franjas de interferência diretamente sobre a retina usando um laser de hélio-néon como uma fonte

de luz coerente, conforme se apresenta nos gráficos da Figura 2. Desta forma e fazendo o *bypass* da ótica do olho obteve uma função semelhante à anterior, concluindo que o efeito é devido a alguma desigualdade orientacional no sistema nervoso visual. Esta desigualdade orientacional referida é explicada pelo facto dos campos recetivos do sistema visual humano mudarem drasticamente a partir da retina e núcleo geniculado lateral (LGN) para o córtex visual (caminho de formação da imagem visual desde a retina ao cérebro, área V1, e áreas 17, 18 e 19). Enquanto as células ganglionares do campo recetivo estão organizadas de forma concêntrica, no córtex estes campos são substituídos por áreas alargadas de estimulação com orientação específica. Os axónios destas células, que são uma parte do neurónio responsável pela condução dos impulsos elétricos que partem do corpo celular até outro local mais distante, como um músculo ou outro neurónio, estão dispostos de uma maneira que os seus terminais *on*-centro formam uma região de excitação alongada, rodeado por uma zona de inibição de terminais *off*-centro, formando o campo de receção de células corticais, conforme se representa esquematicamente na Figura 2.

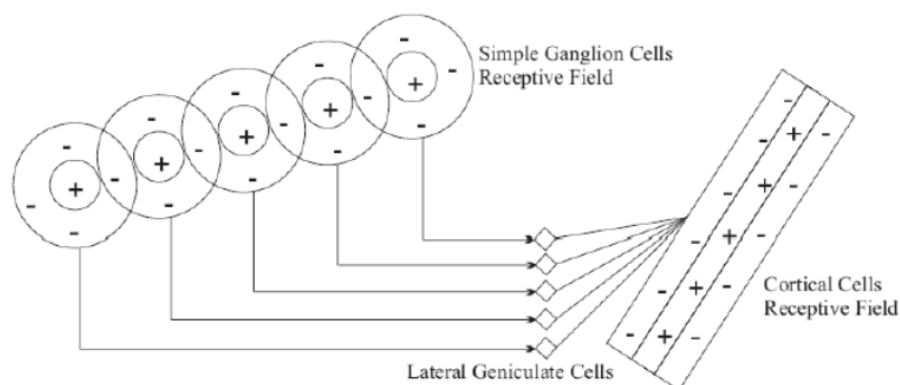


**Figura 2** - Os campos recetivos de células simples do córtex visual primário são diferentes e mais variadas do que as dos neurónios na retina e no núcleo geniculado lateral.  
Retirado e adaptado de: (Yunguo Yu, 2004)

Tais características são fundamentadas por Hubel e Wiesel (Hubel and Wiesel, 1962, Hubel and Wiesel, 1968) com um estudo envolvendo gatos e macacos que demonstra que as células ganglionares da retina e do NGL, e do córtex estriado têm campos recetivos com regiões que são de excitação (*on*) e de inibição (*off*). Nas células da retina e do NGL a configuração desses campos recetivos são circulares com centro excitatório e periferia inibitória ou vice-versa. Nas células do córtex esta configuração é similar, porém alongada de forma elíptica ao invés de ser circular.

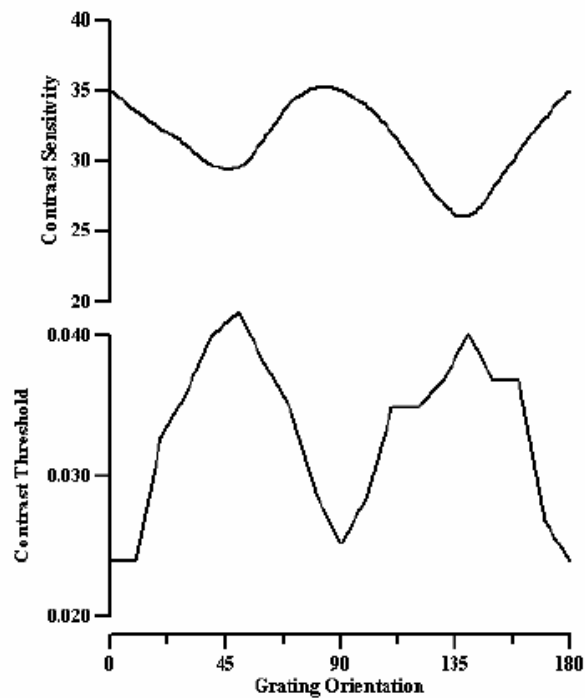
Os mesmos estudos demonstraram que células das áreas 17 e 18 do córtex do gato e do macaco têm uma organização espacial altamente organizada no que respeita a preferência por orientação espacial. As células corticais simples eram mais estreitamente sintonizadas para frequências espaciais do que as células ganglionares da retina e do NGL. Estas células simples encontram-se em várias subcamadas da camada 4c da área 17 e são mais sensíveis à orientação que qualquer outra célula do Sistema Visual Humano (SVH). Para além das células simples, também existem outros tipos de células associadas com a orientação, que são as células complexas encontradas nas áreas 17, 18 e 19. A área recetiva das células complexas é muito maior que das células simples, e não são organizadas com limites bem definidos. Vários estudos têm demonstrado também que o número de células que respondem às orientações horizontal e vertical é diferente das que respondem a estímulos oblíquos (Devalois et al., 1982, Finlay et al., 1976). O número de células complexas que respondem as diferentes orientações é aproximadamente constante ao contrário das células simples que mostram uma variedade considerável em relação a seletividade de orientação. Isto significa que o efeito oblíquo é principalmente determinado pelas respostas das células simples.

Recentemente, utilizando técnicas de ressonância magnética, foi verificado que o efeito oblíquo está altamente correlacionado com a atividade na área V1, sugerindo que o efeito oblíquo é originado por assimetria entre os neurónios da área V1. Nenhuma outra atividade associada com o efeito oblíquo foi encontrada fora da área V1, supondo-se assim que o efeito está restrito a área V1 do córtex visual (Furmanski and Engel, 2000).



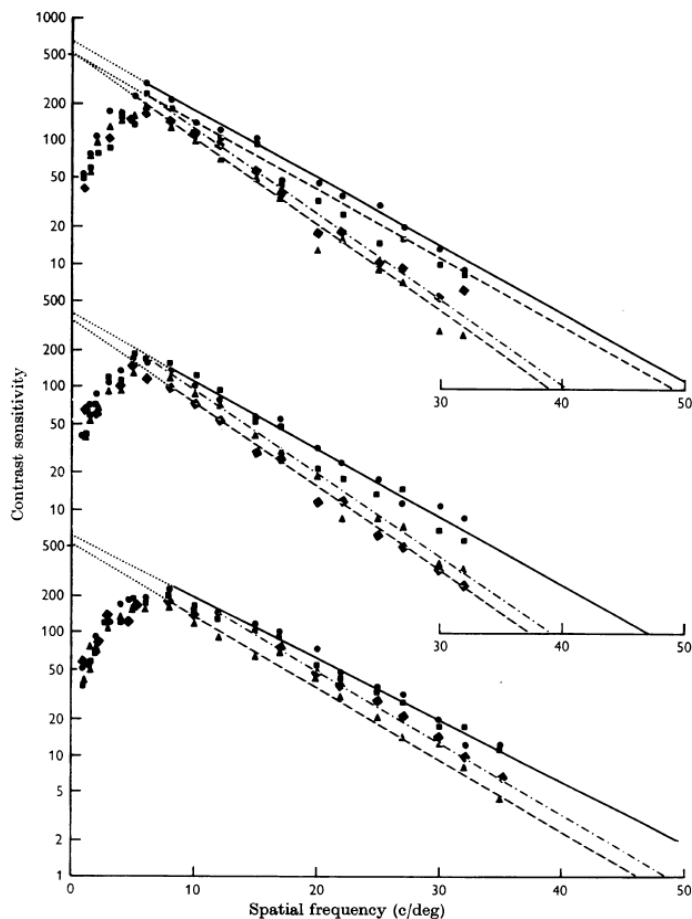
**Figura 3** - Campo seletivo das células ganglionares simples projetadas no córtex.  
Retirado de: (Serra, 2007)

Campbell ainda demonstrou que para frequências espaciais abaixo dos 5 cpg para as 4 orientações estudadas (0°, 45°, 90°, 135°) não existia uma variação significativa da SC, mas que para frequências superiores a 5 cpg à medida que a frequência aumenta a variação da SC entre meridianos também aumenta, conforme se mostra nos resultados apresentados nas Figuras 4 e 5.



**Figura 4** - Curvas psicofísicas que mostram a presença do efeito oblíquo. Em cima a sensibilidade ao contraste em redes projetadas em monitor e em baixo o limiar de contraste em franjas de interferência. Retirado e adaptado de: (Campbell et al., 1966)

Estas quatro orientações para baixas frequências espaciais, isto é entre 0 e 4 cpg, estão bem estabelecidas e têm praticamente o mesmo valor de SC, pois as curvas de SC nessa zona estão quase sobrepostas, conforme se mostra na Figura 5. O pico de SC é similar para as mesmas quatro orientações, estando localizado com já foi referido em torno dos 5, 6 cpg, havendo uma pequeno deslocamento superior para as orientações horizontais e verticais que apresentam maior SC. A partir dos 6 cpg, à medida que as frequências espaciais aumentam começa a ser perceptível o efeito oblíquo. Para as altas frequências existe também uma variação da SC entre os meridianos de orientação. Nas orientações horizontal e vertical existe praticamente o mesmo declive, embora haja um deslocamento paralelo. O mesmo ocorre nas duas orientações oblíquas que tem um declive similar com algum deslocamento paralelo. Mas há definitivamente diferenças na SC das orientações horizontal e vertical, em comparação com as duas orientações oblíquas, sendo de facto nas orientações horizontal e vertical que surge a maior sensibilidade (ver Figura 5).



**Figura 5** – Sensibilidade ao contraste como uma função da frequência espacial para quatro orientações de três indivíduos. ● Vertical ( $0^\circ$ ), ■ Horizontal ( $90^\circ$ ), ▲ Oblíqua ( $45^\circ$ ), ◆ Oblíqua ( $135^\circ$ ). Retirado e adaptado de: (Campbell et al., 1966)

Por fim foi demonstrado que um erro refrativo esférico não interfere na preferência de orientações, pois foi simulada uma desfocagem durante o teste e a sensibilidade ao contraste teve uma queda constante para todas as orientações.

Mais tarde Campbell e Maffei (Campbell and Maffei, 1970) através da comparação entre os potenciais evocados e os electroretinogramas concluíram que as diferenças de SC entre meridianos era uma consequência apenas de processos do córtex visual, e não de processos neuro-retinianos (Mitchell et al., 1967). Estes autores averiguaram que durante a gravação dos potenciais evocados existiam diferenças entre os estímulos apresentados em diferentes orientações, mas o mesmo não foi verificado durante a medição dos sinais na retina (retinograma), que não apresentaram nenhuma diferença a quando da apresentação dos estímulos em diferentes orientações. Assim foi possível concluir que não existe nenhuma ligação entre a resposta da retina e as respostas do sistema neuronal.

Outros estudos foram realizados no âmbito do efeito oblíquo, nos quais foi provado que os movimentos oculares não eram um fator de influência do efeito oblíquo (Gizzi et al., 1990). Também existem estudos em termos de modulação temporal e as maiores diferenças

meridionais foram observadas para baixas frequências temporais, o que significa que o efeito oblíquo esta sobretudo relacionado com os sustentados canais neuronais (Camisa et al., 1977).

Outra questão relativa ao efeito oblíquo é a inclinação da cabeça, porque, quando a cabeça gira há uma mudança na forma como o estímulo é observado. No entanto, esta mudança física no estímulo não é percebida (ideia de um fenómeno de constância de orientação). Este efeito foi demonstrado por projeção de franjas de interferência com diferentes orientações na retina, desvendando que as franjas de alta frequência espaciais orientadas obliquamente são menos resolvidas do que as verticais. A preferível percepção vertical sobre a oblíqua persiste quando a cabeça está inclinada e não muda passado com o tempo (Lennie, 1974). Conclui-se assim que as propriedades de sensibilidade neuronal à orientação não é significativamente alterada, a curto prazo. Isso confirma os resultados anteriores e é atribuído a propriedades do processo de orientação do córtex visual. Concluindo-se assim que o movimento de inclinação da cabeça não influencia o efeito oblíquo.

### 3. Métodos

Para a consecução dos objetivos propostos nesta dissertação de mestrado foi utilizado o interferómetro visual desenvolvido e implementado pelo meu colega Luís Santos no âmbito da sua dissertação de mestrado 2011/2012 - Construção e Validação de um Interferómetro Visual (Santos, 2012), para efetuar a recolha de dados com vista à medição e registo da FSC-Neuronal na visão central e posterior análise do efeito oblíquo. Este trabalho como já foi referido insere-se no âmbito de um outro projeto mais abrangente e que foi submetido e aprovado pela Comissão de Ética da Faculdade de Ciências da Saúde (FCS) da Universidade da Beira Interior (UBI), com o título, “Medição da Função de Sensibilidade ao Contraste Neuronal - MFSCN”.

Este interferómetro visual, cuja representação esquemática se encontra na Figura 6, irá projetar diretamente no mosaico retiniano do olho de um indivíduo, evitando a influência da óptica do olho (córnea e cristalino), um padrão de franjas de interferência com contraste, frequência e orientação espacial ajustáveis. Estas franjas de interferência são obtidas fazendo interferir dois feixes de luz coerentes provenientes de um laser de He-Ne, classe 3B, com 1 mW de potência (Hecht, 1998). Esta radiação laser inicial é atenuada por um filtro de densidade neutra OD2.0 reduzindo a sua potência a 0,25 mW (250  $\mu$ W) e que é posteriormente dividido em dois novos feixes cuja potência é 50% da potência do feixe incidente, isto é 0,125 mW (125  $\mu$ W). Um destes feixes é agora expandido dos 0.8 mm de diâmetro até ser obtido um feixe com cerca de 20,0 mm de diâmetro que é novamente dividido em dois feixes através de um divisor de feixe. Estes feixes vão percorrer percursos ópticos distintos, que são controlados por rotações de um cubo de vidro interposto no seu percurso, para voltarem a recombinar-se interferindo e criando um padrão de franjas de interferência que ocupa no final um círculo com cerca de 20,0 mm de diâmetro (Williams, 1985). Este feixe resultante é polarizado e a sua potência é agora de cerca de 31,25  $\mu$ W com um diâmetro útil de cerca de 4,0 mm, com o propósito de estimular apenas a área da fóvea com cerca de 2° na região central da retina. Através de um polarizador motorizado é possível fazer variar a sua potência até zero. O outro feixe que também é polarizado, é-lhe rompida a coerência, e é atenuado até se obter uma potência de cerca de 31,25  $\mu$ W. Com um outro polarizador motorizado é igualmente possível variar a sua potência até zero. Este feixe de luz é usado para se adicionar luz incoerente ao feixe de luz coerente que contém as franjas de interferência e desta forma a variar o contraste final do estímulo gerado. Chama-se a atenção para o facto de ao adicionar-se luz incoerente é sempre retirada luz coerente, e vice-versa, por forma a manter sempre constante a potência do feixe total. Através de uma lente este feixe que serve de estímulo, e cuja potência não ultrapassa os 31,25  $\mu$ W, é focado no plano pupilar do olho do indivíduo expandindo-se a partir daí até á retina onde será formado e



posição da sua cabeça e, conseqüentemente, o centro da pupila deste, conforme se mostra na Figura 8.

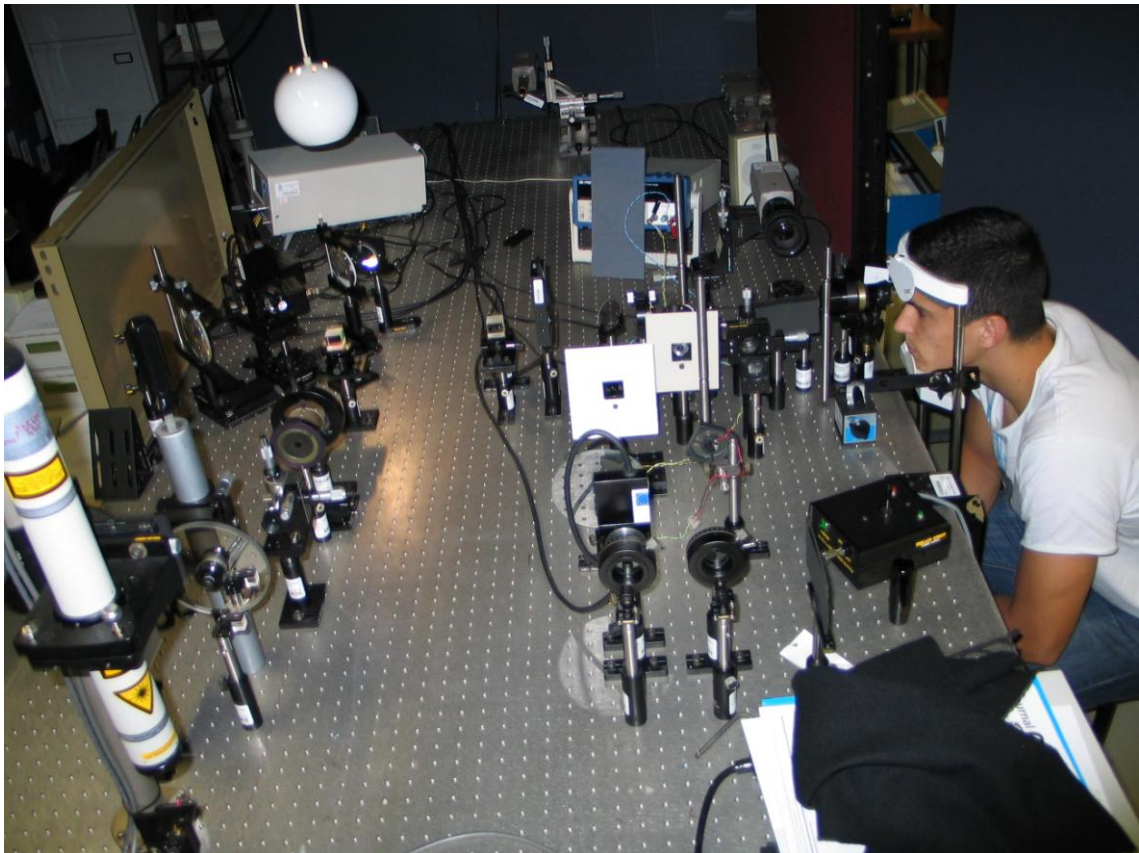


Figura 7 - Fotografia tirada durante a realização de um teste.

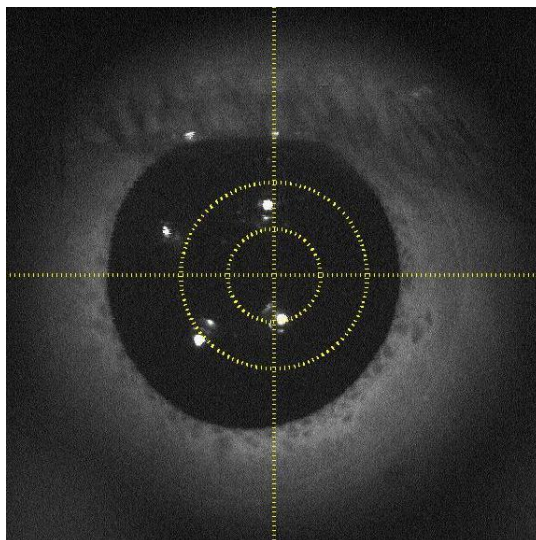
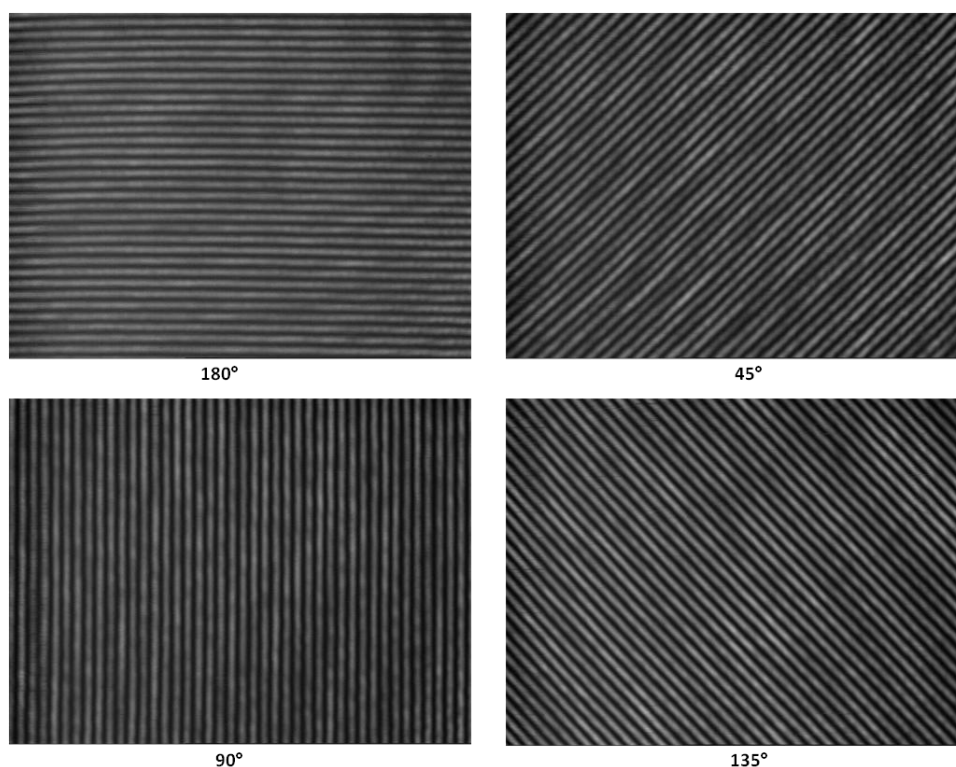


Figura 8 - Exemplo da posição pupilar do olho de um indivíduo durante o processo de alinhamento. Os reflexos visíveis na pupila correspondem às 4 fontes de luz infravermelha usada para efeitos de visualização do processo de alinhamento.

A recolha de dados consiste simplesmente na obtenção de respostas do tipo SIM (as franjas de interferência são visíveis) e NÃO (as franjas de interferência não são visíveis) quando são

mostradas a um indivíduo um conjunto de estímulos visuais compostos por franjas de interferência de contraste variável. O contraste é automaticamente ajustado em função das respostas do indivíduo e de acordo com um algoritmo do tipo “*stair-case*”. São testadas várias frequências espaciais (2, 4, 6, 12, 18 e 24 cpg) e várias orientações espaciais (45°, 90°, 135° e 180°) para estudo do efeito oblíquo através da medição da FSC-Neuronal. A título de exemplo a Figura 9 mostra imagens registadas dos padrões de franjas de interferência para cada uma das orientações consideradas para a frequência espacial de 18 cpg. A partir das respostas registadas serão construídos gráficos que mostram a curva de FSC-Neuronal dos indivíduos e também gráficos das curvas da orientação para cada frequência espacial para se ter a evidência do efeito oblíquo.



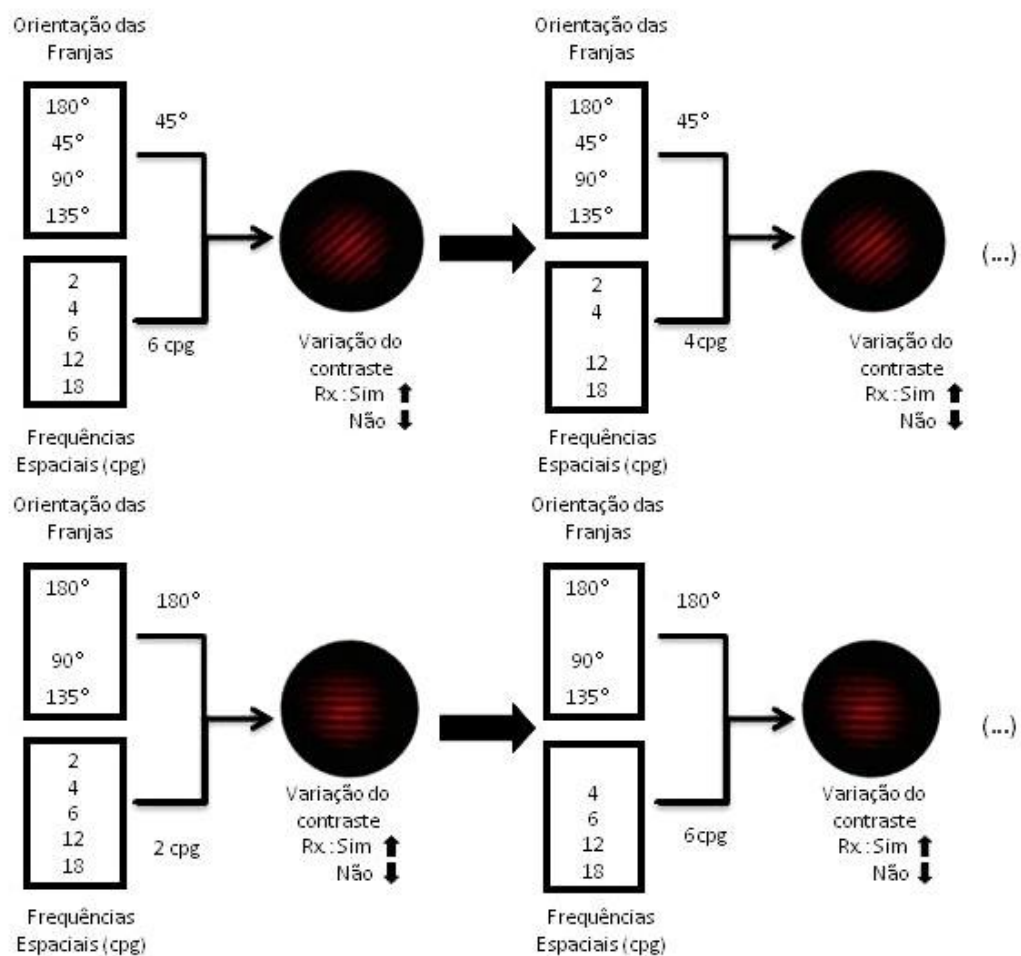
**Figura 9** - Imagens dos padrões de franjas de interferência nas 4 orientações testadas com uma frequência espacial de 18 cpg.

Inicialmente, o programa pede a introdução dos dados do observador, identificação, idade e olho a ser testado. O próximo passo é selecionar o ficheiro com os dados das frequências espaciais e orientação pretendida e o respetivo ficheiro com os dados da Lei de Malus para controlo do contraste através dos polarizadores automáticos (Hecht, 1998). O sistema informático regista automaticamente uma imagem do padrão de franjas de interferência, depois segue-se o alinhamento e focagem pupilar, tal como foi descrito anteriormente, a imagem do olho do indivíduo também é registada.

O grupo de estudo é reduzido e é constituído por oito indivíduos dos géneros masculino e feminino, com uma média de idade de  $31,6 \pm 10,1$  anos, e aos quais foi mostrado e obtido o

consentimento informado de acordo com o documento que se encontra no Anexo 2. Numa primeira experiência, cada indivíduo responde a um programa de teste constituído por quatro orientações ( $180^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $135^\circ$ ) e cinco frequências espaciais (2, 4, 6, 12, 18 cpg). Numa segunda experiência, apenas quatro dos oito indivíduos respondem a um outro programa de teste constituído pelas mesmas quatro orientações ( $180^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $135^\circ$ ) mas apenas para uma nova frequência espacial que é a de 24 cpg. Esta segunda experiência surge pela necessidade de alargar o leque de frequências espaciais para avaliação e confirmar a existência de um efeito oblíquo mais acentuado com o aumento da frequência espacial.

O protocolo de execução dos testes para registo das FSC-Neuronal consiste no seguinte: É selecionada uma orientação espacial, por exemplo é apresentado a um indivíduo um estímulo composto por franjas de interferência orientadas a  $45^\circ$  e com uma frequência espacial de 6 cpg e de contraste sempre superior a 50%, conforme se demonstra na Figura 10. Depois de testada esta frequência espacial é selecionada aleatoriamente uma nova frequência espacial para a mesma orientação espacial e o respetivo ficheiro da Lei de Malus para controlo do contraste de acordo com o procedimento anteriormente descrito (ver Figura 10).



**Figura 10** - Esquema do protocolo utilizado para determinar as curvas de FSC-Neuronal. Um protocolo consiste na recolha das respostas para as cinco frequências espaciais numa determinada orientação.

É sempre registado a imagem do estímulo visual gerado (padrão de franjas de interferência) e do olho do indivíduo. Como já foi referido é também selecionado um contraste inicial aleatório (> 50%) e inicia-se o processo de recolha das respostas do indivíduo em função das variações de contraste induzidas. Quando as cinco frequências espaciais a estudar são mostradas o teste acaba. As mesmas cinco frequências espaciais são posteriormente apresentadas de forma aleatória em novos testes, para as restantes três orientações. Convém referir que o padrão de franjas inicial é sempre visível. Os diferentes testes repetem-se por três vezes para cada orientação e respetivas frequências espaciais, em dias diferentes.

Relativamente ao processamento dos dados registados nas duas experiências foram efetuados testes estatísticos descritivos e paramétricos, usando o aplicativo de *software* SPSS, em particular, testes de normalidade, ANOVA 2-Way, ANOVA 1-Way. A representação dos resultados destes testes é feita de acordo com a seguinte estrutura: Distribuição de Fisher ou razão  $F(n^{\circ}$  variáveis -1,  $(n^{\circ}$  variáveis-1)x $(n^{\circ}$  indivíduos -1)) e *p-value* que representa a probabilidade de obter um teste estatístico.

Em resumos, os oito indivíduos responderam por três vezes ao conjunto de cinco frequências espaciais nas quatro orientações definidas. Destes, apenas quatro responderam ainda posteriormente e por três vezes apenas à frequência espacial de 24 cpg nas mesmas quatro orientações definidas.

O algoritmo “*stair-case*” utilizado para a obtenção da resposta ao estímulo apresentado, com objetivo de determinar o limiar de contraste, é um procedimento psicofísico em escada de modificação “*up-down*” de busca binária (BNSRCH), de acordo com o exemplificado na Figura 11.

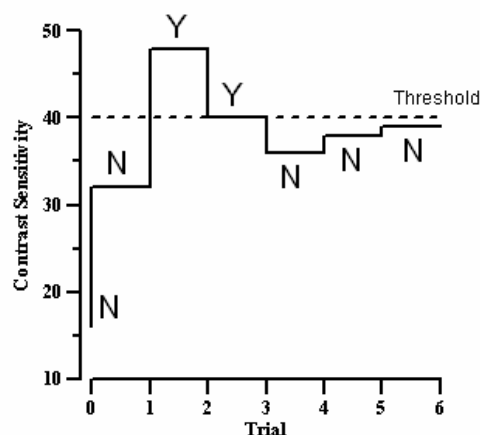


Figura 11- O gráfico mostra uma série de respostas para ilustrar a rotina BNSRCH, (N) significa que o indivíduo não identificou o padrão e (Y) o oposto.

Retirado de: (Serra, 2007)

O valor do contraste é controlado e registado em dB (Santos, 2012). A partir de um comando numa “*response-box*” o indivíduo responde SIM ou NÃO caso consiga identificar (resolver) ou não o estímulo apresentado. Se o indivíduo der uma resposta positiva, ocorre uma redução no contraste do estímulo apresentado, caso a resposta seja negativa o contraste aumenta. Em cada apresentação o estímulo tem a mesma probabilidade de ser identificado ou não (Leek, 2001).

Primeiramente o estímulo apresentado tem um contraste que está definido no intervalo de 20 a 8 dB o que corresponde ao intervalo de contraste de 10% e 40% respetivamente. A escolha do contraste inicial é aleatória para despistar aprendizagens e vícios por parte de quem realiza o teste. A partir do primeiro padrão de franjas apresentado, caso a resposta seja positiva, o sistema incrementa 4 dB ao valor aleatório inicial, diminuindo o contraste entre as franjas e o fundo. Este processo é feito automaticamente em poucos segundos. Este fenómeno repete-se até que seja impossível ao observador ver a diferença entre franjas e fundo, neste caso o indivíduo responde negativamente e o sistema, para despiste de falsos positivos, repete o padrão com o mesmo contraste. A este nível o observador confirma que não consegue resolver o padrão respondendo NÃO e verificando-se uma inversão, o sistema decrementa então 2 dB e o contraste do padrão aumenta, até que o indivíduo distinga novamente o padrão de franjas.

Tabela 1 - Exemplo de uma sequência de respostas dadas por um indivíduo durante um teste.

Contraste inicial em dB [20, 8]	8 dB	
Valor contraste (dB)	Respostas	Passo (dB)
8	Sim	+4
12	Sim	+4
16	Sim	+4
20	Não	Confirma
20	Não (Inversão)	-2
18	Não	-2
16	Sim	Não Confirma -2
16	Não	-2
14	Sim	Confirma
14	Sim (Inversão)	+1
15	Sim	+1
16	Não	Confirma
16	Não (Inversão)	-0,5
16,5	Não	-0,5
17	Sim (Inversão)	Confirma
17	Sim	+0,25

Caso o indivíduo se tenha enganado, responde SIM e o sistema continua a incrementar 4 dB e o contraste diminui. Sempre que ocorra uma inversão na resposta ocorre uma confirmação, isto é, o sistema mostra novamente o mesmo contraste como despiste de falsos positivos, se a inversão se verificar o sistema incrementa ou decrementa metade desse valor em dB. O critério de paragem é atingido quando os incrementos/decrementos de contraste sejam iguais a 0,25 dB. O limiar de contraste a registar para esse estímulo é definido pelo contraste da última inversão efetuada pelo indivíduo. A Tabela 1 exemplifica uma sequência de respostas e respetivos ajustes de contraste a um estímulo em teste.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Análise estatística da SC frequências e orientações

A partir da recolha de dados descrita nos métodos para a primeira experiência, foi construído um gráfico que descreve a FSC média dos oito indivíduos para um conjunto de cinco frequências espaciais (2, 4, 6, 12 e 18 ciclos/grau) em quatro orientações (180°, 45°, 90° e 135°) conforme representado na Figura 12.

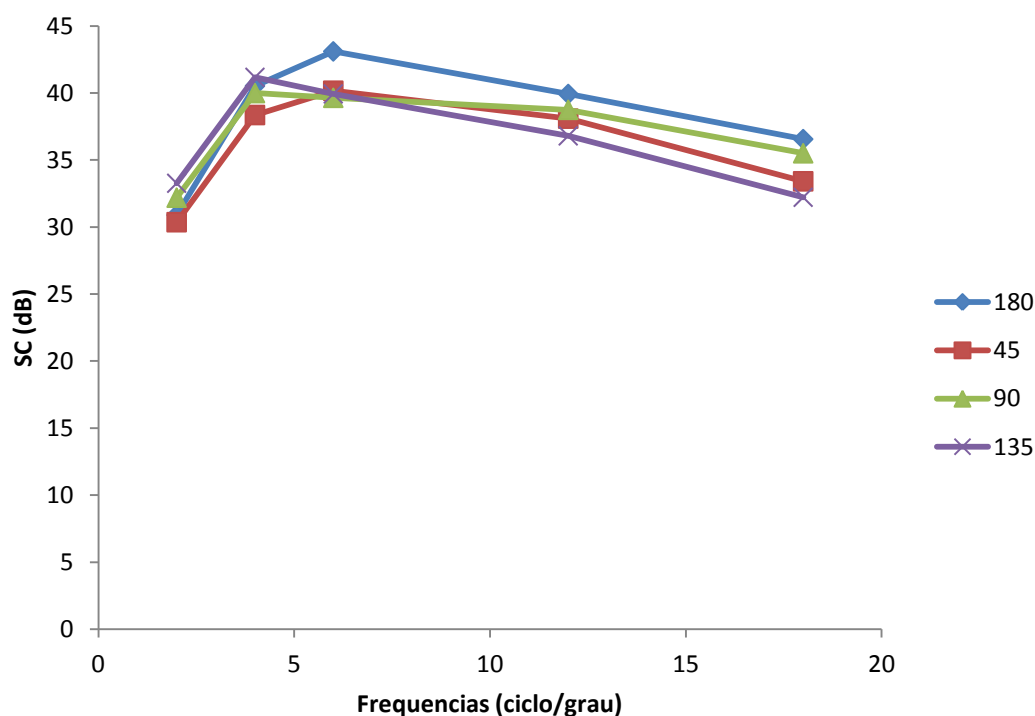


Figura 12 - Gráfico das curvas da FSC média para orientações a 180°, 45°, 90° e 135°.

Recorrendo a uma análise estatística com duas variáveis (frequência espacial e orientação) e utilizado um teste paramétrico (ANOVA 2-Way), tendo-se verificado que as condições testadas cumpriam os critérios de normalidade, foi feito o processamento dos resultados obtidos na experiência realizada.

Os resultados desta estatística demonstram que razão F da distribuição de Fisher é  $F(4,28)=57.113$  com  $p < 0.001$  ( $p$ -value) o que significa que as curvas da FSC média variam com a frequência quando se consideram as quatro orientações. Uma vez que existe significância estatística é importante avaliar os resultados estatísticos em termos das orientações. Assim, para as orientações em questão a estatística revelou um resultado para a razão F, que se

expressa por  $F(3,21)=1.547$  com  $p=0.232$ , o que significa que as curvas da FSC média não diferem com significância estatística umas das outras.

Uma vez que não existe estatística significativa com as orientações foi considerada a estatística das diferenças entre as várias frequências em questão considerando todas as orientações em estudo, isto é, vai-se analisar o significado estatístico das combinações de cada uma das frequências com as restantes.

**Tabela 2** - Descreve a estatística das diferenças entre as várias frequências, considerando todas as orientações.

(\* indica que existem diferenças estatisticamente significativas)

Pares de Frequências	Significado Estatística
2 vs 4 cpg	$F(1,7)= 123.341$ $p=0.000$ *
2 vs 6 cpg	$F(1,7)= 311.797$ $p=0.000$ *
2 vs 12 cpg	$F(1,7)= 91.207$ $p= 0.000$ *
2 vs 18 cpg	$F(1,7)= 9.555$ $p= 0.018$ *
4 vs 6 cpg	$F(1,7)= 1.674$ $p= 0.237$
4 vs 12 cpg	$F(1,7)= 4.728$ $p=0.066$
4 vs 18 cpg	$F(1,7)= 32.299$ $p=0.001$ *
6 vs 12 cpg	$F(1,7)= 44.962$ $p=0.000$ *
6 vs 18 cpg	$F(1,7)= 58.650$ $p= 0.000$ *
12 vs 18 cpg	$F(1,7)= 30.733$ $p= 0.001$ *

Pela análise da estatística apresentada na tabela pode-se concluir que existem diferenças estatisticamente significativas entre baixas frequências espaciais, entre baixas e altas frequências espaciais e entre altas frequências espaciais, pois o *p-value* apresenta valores tais que  $p < 0.05$ . No entanto, não existe estatística significativa entre médias frequências espaciais, tais como nos casos dos pares 4 vs 6 cpg e 4 vs 12 cpg com os resultados de  $p= 0.237$  e  $p= 0.066$ , respetivamente.

Esta estatística não significativa explica-se pela forma das curvas da FSC média (tipo passa banda) e pelo facto de o pico das curvas se encontrar entre os 4 e 6 cpg. Nestes pontos das curvas da FSC média, o declive da reta aproxima-se de zero e mantém-se constante, ao contrário do comportamento do declive para zonas de baixas e altas frequências espaciais onde o declive das mesmas se afasta de zero.

Embora se tenha verificado que só existe estatística significativa para as frequências espaciais e que não existe significado estatístico em relação às orientações, era de esperar que a orientação fosse um fator com diferenças estatisticamente significativas, uma vez que estudos anteriores revelam que os seres humanos são sensíveis à orientação (efeito oblíquo). Como tal foi utilizada a mesma estatística para estudar a interação entre as orientações e frequências espaciais. A Tabela 3 representa os resultados dessa estatística cruzada. Na

interação entre frequências espaciais e orientações existem variações na FSC média para os mesmos pares de frequências espaciais e que diferem dependendo do par de orientação escolhido. Esse resultado está traduzido no valor de  $F(12,84) = 3.546$  com  $p < 0.001$ , o que significa que esta interação entre frequências espaciais e orientações é global e estatisticamente significativa.

Tabela 3 - Estatística usando o ANOVA 2-Way para as interações entre cinco frequências e quatro orientações.

(\* indica que existem diferenças estatisticamente significativas)

Pares de Orientações Pares de Frequências	180° vs 45°	180° vs 90°	180° vs 135°	45° vs 90°	45° vs 135°	90° vs 135°
2 vs 4 cpg	F(1,7)=1,571 p=0,250	F(1,7)=2,687 p=0,145	F(1,7)=2,828 p=0,137	F(1,7)=0,048 p=0,833	F(1,7)=0,005 p=0,947	F(1,7)=0,010 p=0,922
2 vs 6 cpg	F(1,7)=3,525 p=0,103	F(1,7)=12,399 p=0,010 *	F(1,7)=21,202 p=0,002 *	F(1,7)=3,858 p=0,090	F(1,7)=5,697 p=0,048 *	F(1,7)=0,350 p=0,573
2 vs 12 cpg	F(1,7)=0,824 p=0,394	F(1,7)=3,956 p=0,087	F(1,7)=30,415 p=0,001 *	F(1,7)=0,644 p=0,432	F(1,7)=25,030 p=0,002 *	F(1,7)=6,896 p=0,034
2 vs 18 cpg	F(1,7)= 4,498 p= 0,072	F(1,7)= 1,918 p=0,209	F(1,7)=54,937 p=0,000 *	F(1,7)=0,025 p=0,879	F(1,7)=19,196 p=0,003 *	F(1,7)=8,088 p=0,025
4 vs 6 cpg	F(1,7)=0,747 p=0,416	F(1,7)=15,599 p=0,006 *	F(1,7)=8,193 p=0,024 *	F(1,7)=14,554 p=0,007 *	F(1,7)=3,126 p=0,119	F(1,7)=0,252 p=0,639
4 vs 12 cpg	F(1,7)=0,068 p=0,802	F(1,7)=0,436 p=0,530	F(1,7)=5,814 p=0,047 *	F(1,7)=0,786 p=0,405	F(1,7)=10,378 p=0,015 *	F(1,7)=4,377 p=0,075
4 vs 18 cpg	F(1,7)=1,530 p=0,256	F(1,7)=0,220 p=0,654	F(1,7)=17,834 p=0,004 *	F(1,7)=0,104 p=0,756	F(1,7)=8,105 p=0,025 *	F(1,7)=4,798 p=0,065
6 vs 12 cpg	F(1,7)=0,937 p=0,365	F(1,7)=7,033 p=0,033 *	F(1,7)=0,002 p=0,968	F(1,7)=1,927 p=0,208 *	F(1,7)=1,188 p=0,312	F(1,7)=8,272 p=0,024 *
6 vs 18 cpg	F(1,7)=0,094 p=0,768	F(1,7)=5,502 p=0,051	F(1,7)=1,707 p=0,223	F(1,7)=5,726 p=0,048 *	F(1,7)=2,193 p=0,182	F(1,7)=12,688 p=0,009 *
12 vs 18 cpg	F(1,7)=4,356 p=0,075	F(1,7)=0,011 p=0,920	F(1,7)=2,760 p=0,141	F(1,7)=4,733 p=0,066	F(1,7)=0,039 p=0,850	F(1,7)=3,792 p=0,093

Por forma a facilitar a análise dos resultados da tabela anterior, foi efetuada uma síntese desses resultados onde apenas se analisam as combinações entre as várias orientações e as frequências espaciais de 4 e 6 cpg (que correspondem ao intervalo onde se encontra o pico da FSC média) com a frequência máxima deste teste que é de 18 cpg, conforme apresentado na Tabela 4.

Esta tabela representa nas duas primeiras colunas os resultados teóricos esperados e nas duas últimas colunas os resultados efetivamente obtidos nesta experiência. Uma vez que o pico da FSC médio não está definido, cada uma das colunas apresentadas corresponde ao limite superior e inferior desse intervalo. Assim, constatamos que teoricamente não deveria de existir significado estatístico nos pares de orientações 180° vs 90° e 45° vs 135°. Na realidade, não existe significado estatístico a 180° vs 90° mas os resultados mostram que existe significado estatístico a 45° vs 135° nas frequências espaciais 4 vs 18 cpg. Por outro lado, em todos os outros pares de orientações, com a exceção do par 180° vs 45°, teoricamente deveria existir significado estatístico e constata-se que os resultados obtidos não são estatisticamente significativos umas vezes no par de frequências espaciais 4 vs 18 cpg e outras no par 6 vs 18 cpg. Relativamente ao par de orientações 180° vs 45°, teoricamente deveria haver significado estatístico e na prática verificou-se o contrário, conforme denotado na tabela 4. Estas inconsistências podem ser justificadas atendendo a que a posição do pico da FSC média não está claramente definido.

**Tabela 4** - Descrição da estatística teóricas e efetivas obtida para combinações entre as várias orientações e as frequências espaciais de 4 e 6 cpg com a frequência 18 cpg.

✓ - Indica que existe significado estatístico, ✗ - Indica que não existe significado estatístico.

Pares de Orientações	Teórico		Efetivo	
	4 vs 18 cpg	6 vs 18 cpg	4 vs 18 cpg	6 vs 18 cpg
180° vs 45°	✓	✓	✗	✗
180° vs 90°	✗	✗	✗	✗
180° vs 135°	✓	✓	✓	✗
45° vs 90°	✓	✓	✗	✓
45° vs 135°	✗	✗	✓	✗
90° vs 135°	✓	✓	✗	✓

## 4.2 Análise do declive - variação da SC nas frequências médias e altas

O efeito oblíquo é observado nas médias e altas frequências espaciais, sendo o seu efeito diluído nas baixas frequências, uma vez que o centro de excitação e inibição das células recetoras ganglionares é estimulado em simultâneo devido ao seu tamanho físico. A estatística esperada deveria indicar a inexistência de diferenças estatisticamente significativas entre frequências baixas e as quatro orientações. O mesmo era de esperar entre as frequências espaciais baixas e médias e as quatro orientações, uma vez que o pico de FSC se mantém sempre nas frequências espaciais 4 ou 6 cpg. Nestas condições, foi determinado o declive médio das FSC's para todos os indivíduos e todas as orientações a partir do pico até a

frequência máxima, conforme se mostra a título de exemplo na Figura 13 para um dos indivíduos e os restantes encontram-se em Anexo 3.

Como existe uma diminuição da FSC para as médias e altas frequências espaciais quando o estímulo é apresentado a 135° e a 45° em comparação com os objetos orientados a 90° e a 180° foi analisado estatisticamente o declive para a variação da FSC apenas nas frequências espaciais médias e altas. Esta análise do declive demonstra que esta variação da FSC nas frequências médias e altas têm diferenças estatisticamente significativa, pois  $F(3,21) = 6.309$  com um *p-value* igual a 0.003.

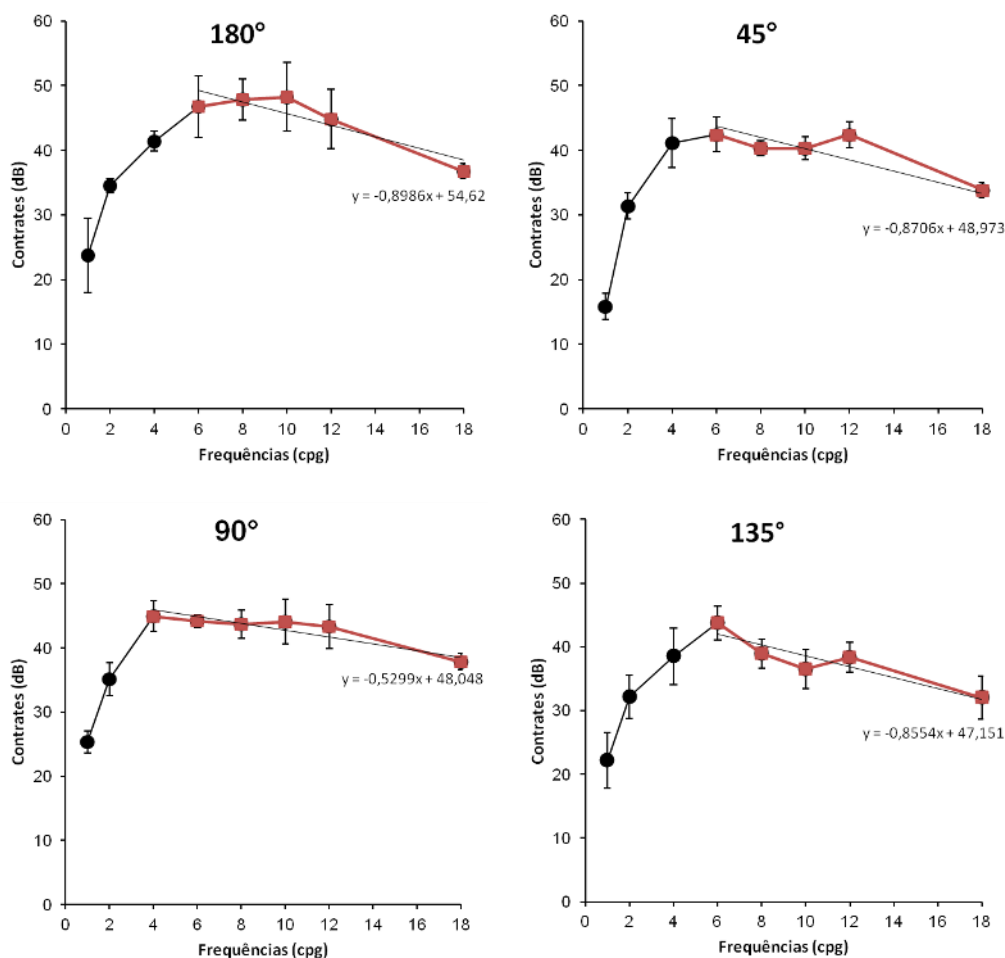


Figura 13 - Traçado do declive para as quatro curvas da FSC média do indivíduo 1.

Atendendo que há significado estatístico para as frequências espaciais médias e altas foi feita uma nova análise entrando em consideração com os pares de orientações possíveis. Os resultados desta análise estão representados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Análise da variação do declive entre frequências espaciais médias e altas para os pares de orientações possíveis. (variação da SC para frequências médias e altas).

✓ - Indica que existe significado estatístico, ✗ - Indica que não existe significado estatístico.

Pares de Orientações	Significado Estatístico	Valor teórico
180° vs 45°	F(1,7)= 0,369 p=0,563 ✗	✓
180° vs 90°	F(1,7)= 5,237 p=0,056 ✗	✗
180° vs 135°	F(1,7)= 3,008 p= 0,126 ✗	✓
90° vs 45°	F(1,7)= 5,765 p= 0,047 ✓	✓
45° vs 135°	F(1,7)= 4,969 p= 0,061 ✗	✗
90° vs 135°	F(1,7)=12,012 p=0,010 ✓	✓

Na primeira coluna da tabela estão os pares de orientações em estudos na segunda o significado estatístico obtido, e na última coluna o valor teórico esperado atendendo à existência do efeito oblíquo. Comparando o significado estatístico obtido com o teórico conclui-se que os pares de orientações de 180° vs 45° e 180° vs 135° não estão de acordo com o previsto tal como acontece com os pares de orientações de 90° vs 45° e 90° vs 135°. O facto de não se ter obtido um significado estatístico quando se cruza a orientação horizontal (180°) com as orientações de 45° e 135°, e haver significado estatístico com a vertical (90°), pode estar relacionado com dois fatores. O primeiro prende-se com o facto de o número de indivíduos que realizaram o teste não ser o suficientemente grande e a estatística poder neste caso fornecer valores menos corretos. O segundo fator, é mais difícil de se explicar pelo motivo atrás apontado (poucos indivíduos testados), tem a ver com o facto da curva da FSC média na horizontal (180°) apresentar valores de SC mais elevados quando comparados com os valores da FSC média na vertical (90°). Nas restantes combinações de orientações e de acordo com a tabela anterior verifica-se que estatisticamente o comportamento está dentro do esperado.

### 4.3 Análise estatística da SC orientação a orientação

Foi feita uma análise dos valores médios da FSC medidos para todos os indivíduos que realizaram o teste tendo em consideração as franjas orientadas na horizontal, vertical e na oblíqua (180°, 90°, 135° e 45°) a fim de verificar a significância estatística da SC com a variação da frequência espacial. A Figura 14 representa graficamente os valores da FSC média nas quatro orientações. A cada gráfico corresponde uma orientação diferente das franjas de interferência com intervalos de confiança superior e inferior (IC (+) e IC (-) respetivamente) para um grau de confiança de 95%.

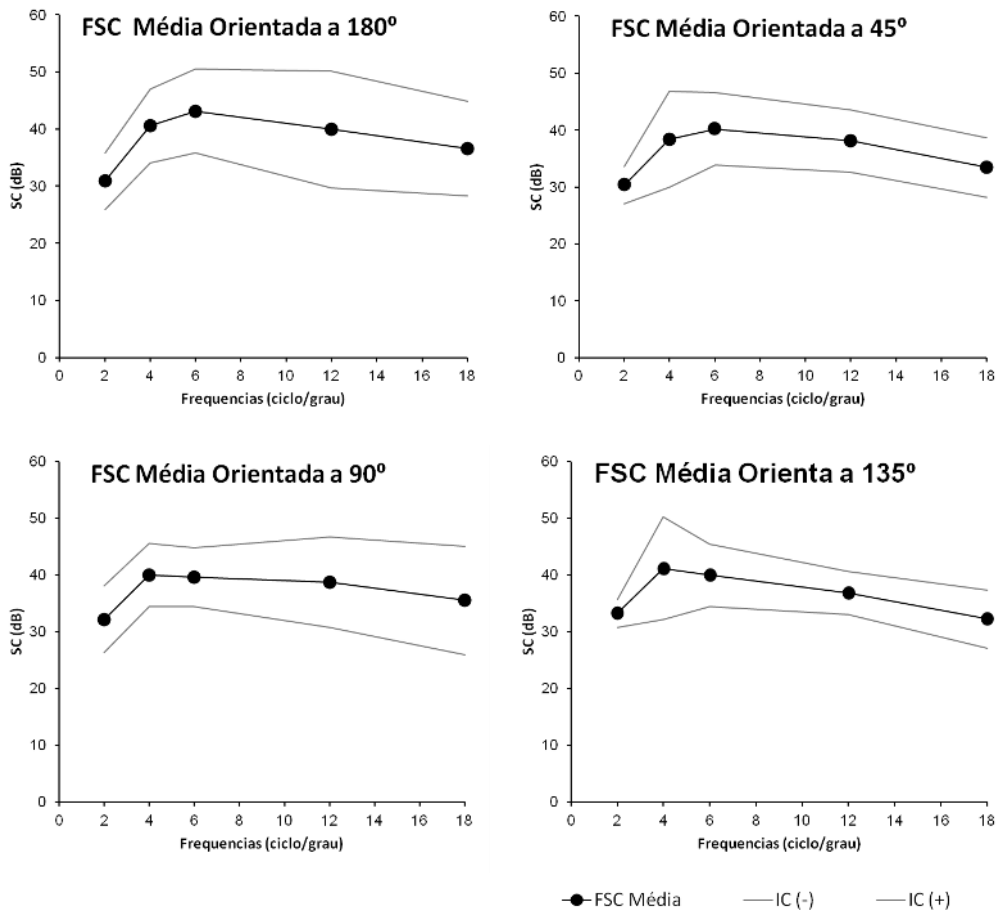


Figura 14 - Função de Sensibilidade ao Contraste Neuronal (FSC-Neuronal) média para franjas interferência orientadas a 180°, 45°, 90° e 135° considerando as frequências de 2, 4, 6, 12, 18 cpd.

Fundamentado no teste ANOVA 1-Way podemos afirmar que existe significado estatístico em todas as orientações, uma vez que segundo os valores abaixo apresentados *p-value* é inferior a 0.001.

Tabela 6 - Análise estatística da orientação em função da frequência espacial.

Orientações	Significado Estatístico
180°	F(4,28)= 48,878 e p=0,000
45°	F(4,28)=33,674 e p=0,000
90°	F(4,28)= 23,229 e p=0,000
135°	F(4,28)=31,130 e p=0,000

Existe uma diferença estatisticamente significativa porque, como se esperava e como se pode observar nos gráficos da Figura 14, a FSC varia com a frequência espacial em cada uma das orientações. A fim de se identificarem possíveis padrões relativos às diferenças de SC ao longo das curvas apresentadas, não identificados *à priori* foi efetuado um teste *Post-Hoc* ao dados registados. Nestas, condições o padrão que se pretende identificar está relacionado com possíveis diferenças entre as frequências espaciais testadas. Nas Tabelas 7 e 8 estão representados os resultados obtidos neste teste.

Tabela 7 - Comparação entre frequências espaciais para as orientações 180° e 90° (teste Post-Hoc).  
(\* indica que existem diferenças estatisticamente significativas)

Frequências Espaciais (cpg)	2	4	6	12	18	
2		F(1,7)=56,446 p=0,000	F(1,7)=39,464 p=0,000	F(1,7)=23,827 p=0,002	F(1,7)=3,209 p=0,116	Orientação a 180°
4	F(1,7)=215,921 p=0,000		F(1,7)=0,423 p=0,536	F(1,7)=1,872 p=0,213	F(1,7)=10,572 p=0,071	
6	F(1,7)=297,910 p=0,000	F(1,7)=21,741 p=0,002		F(1,7)=1,746 p=0,228	F(1,7)=14,256 p=0,007	
12	F(1,7)=64,255 p=0,000	F(1,7)=0,375 p=0,560	F(1,7)=15,355 p=0,006		F(1,7)=23,242 p=0,002	
18	F(1,7)=25,018 p=0,002	F(1,7)=15,881 p=0,005	F(1,7)=29,568 p=0,001	F(1,7)=9,389 p=0,018		
Orientação a 90°						

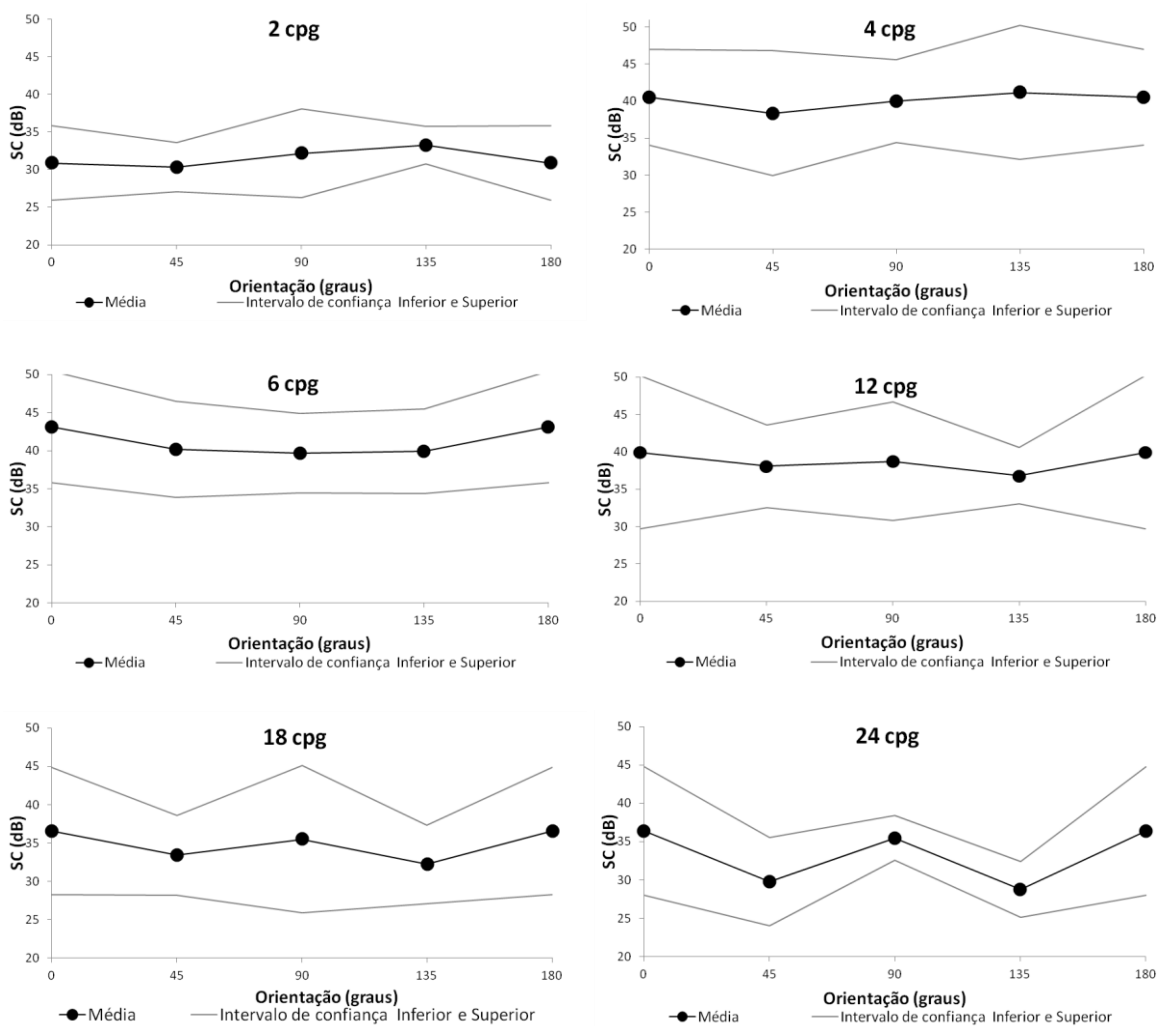
Tabela 8 - Comparação entre frequências espaciais para as orientações 45° e 135° (teste Post-Hoc).  
(\* indica que existem diferenças estatisticamente significativas)

Frequências Espaciais (cpg)	2	4	6	12	18	
2		F(1,7)=42,340 p=0,000	F(1,7)=56,012 p=0,000	F(1,7)=51,131 p=0,000	F(1,7)=1,900 p=0,211	Orientação a 135°
4	F(1,7)=55,414 p=0,000		F(1,7)=0,710 p=0,427	F(1,7)=13,280 p=0,008	F(1,7)=42,381 p=0,000	
6	F(1,7)=119,667 p=0,000	F(1,7)=4,202 p=0,080		F(1,7)=35,884 p=0,001	F(1,7)=100,126 p=0,000	
12	F(1,7)=73,629 p=0,000	F(1,7)=4,655 p=0,068	F(1,7)=8,954 p=0,020		F(1,7)=42,889 p=0,000	
18	F(1,7)=13,851 p=0,007	F(1,7)=12,722 p=0,009	F(1,7)=66,775 p=0,000	F(1,7)=28,572 p=0,001		
Orientação a 45°						

Estes resultados mostram-nos que existem em quase todas as combinações entre frequências espaciais diferenças estatisticamente significativas para as orientações de 90°, 45° e 135°. No entanto, para estas mesmas orientações há algumas combinações que não mostram ser estatisticamente significativas e que fundamentalmente esta relacionada com o facto de envolverem frequências espaciais que estão associadas ao pico da FSC em causa (zona de menor declive da FSC), que envolve as comparações entre as frequências espaciais 4-6 cpg, 4-12 cpg e 6-12 cpg. Com tudo, a orientação do 180° continua a mostrar na sua maioria resultados sem significado estatístico. Esta situação, como já referido anteriormente, resulta do facto da curva da FSC média na horizontal (180°) apresentar valores de SC mais elevados quando comparados com os valores da FSC média na vertical (90°). Contudo um maior número de indivíduos a realizar o teste melhoraria os resultados estatísticos aqui obtidos.

#### 4.4 Análise estatística da SC orientação por frequência - Efeito Oblíquo

A partir da recolha de dados descrita nos métodos, mas agora para a segunda experiência, foram construídos vários gráficos, conforme se representam na Figura 12, que descreve a SC média dos 8 indivíduos, por frequência espacial, para as orientações 180°, 45°, 90° e 135°. De notar que nesta experiência 2 foi analisada a frequência espacial de 24 cpq para além das frequências espaciais anteriormente consideradas (2, 4, 6, 12, 18 cpq) em 4 dos 8 indivíduos testados.



**Figura 15** - Sensibilidade ao contraste média por frequência espacial, para as orientações 180°, 45°, 90° e 135° (gráficos 2 a 18 cpq têm a média de 8 indivíduos e o gráfico 24 cpq corresponde a média de 4 indivíduos).

Uma análise cuidada da Figura 15 e de acordo com o previsto na literatura (Appelle, 1972) é notória a existência do efeito oblíquo no conjunto de oito indivíduos analisados. Este efeito oblíquo torna-se mais acentuado para frequências espaciais mais elevadas do que para as frequências espaciais baixas, daí que se tenha estendido nesta experiência á análise da

frequência 24 cpg. Na análise dos gráficos para a frequência espacial 4 e 6 cpg (zona do pico) é perceptível que não existe efeito oblíquo, isto é não há variações significativas da SC para as diferentes orientações. Ao efetuar a estatística ANOVA 1-Way a cada frequência espacial os resultados desta experiência mostram, conforme Tabela 9, que apenas existem resultados estatisticamente significativos a partir da frequência espacial dos 6 até 24 cpg o que corrobora com o previsto na literatura e nos resultados aqui obtidos.

Tabela 9 - Análise estatística do efeito da orientação na SC por frequência espacial.

Frequência	Significado Estatístico
2 cpg	F(3,21)=2,266 p=0,094
4cpg	F(3,21)=1,288 p=0,304
6cpg	F(3,21)=3,640 p=0,029 *
12cpg	F(3,21)=2,020 p=0,142
18cpg	F(3,21)=5,370 p=0,007 *
24cpg	F(3,9)=8,489 p=0,005 *

A fim de se identificarem possíveis padrões relativos às diferenças estatisticamente significativas entre os pares de orientações 180° vs 45°, 180° vs 135°, 45° vs 90° e 90° vs 135° para cada uma das frequências espaciais testadas foi efetuado um teste *Post-Hoc* ao dados registados. Nestas, condições o padrão que se pretende identificar está relacionado com possíveis diferenças de SC entre as orientações espaciais testadas. Nas Tabelas 10 estão representados os resultados obtidos neste teste.

Tabela 10 - Análise dos valores da SC entre orientações para cada frequência espacial.  
(\* indica que existem diferenças estatisticamente significativas)

Pares de Orientações Frequência	180° vs 45°	180° vs 90°	180° vs 135°	45° vs 90°	45° vs 135°	90° vs 135°
	2 cpg	F(1,15)= 8,323 p=0,011	F(1,15)= 1,177 p=0,307	F(1,15)= 0,372 p=0,557	F(1,15)= 4,904 p=0,043	F(1,15)= 1,404 p=0,255
4 cpg	F(1,15)= 2,188 p=0,183	F(1,15)= 0,251 p= 0,632	F(1,15)= 0,194 p= 0,673	F(1,15)= 1,780 p= 0,224	F(1,15)= 3,015 p= 0,126	F(1,15)= 0,349 p=0,573
6 cpg	F(1,15)= 3,788 p=0,093	F(1,15)= 15,701 p=0,005	F(1,15)= 5,044 p=0,060	F(1,15)= 0,276 p=0,616	F(1,15)= 0,035 p=0,857	F(1,15)= 0,094 p=0,768
12 cpg	F(1,15)= 1,391 p=0,2777	F(1,15)= 0,796 p=0,402	F(1,15)= 4,166 p=0,081	F(1,15)= 0,277 p= 0,509	F(1,15)= 1,816 p=0,220	F(1,15)= 2,128 p= 0,203
18 cpg	F(1,15)= 5,440 p= 0,052	F(1,15)= 0,995 p=0,352	F(1,15)= 13,999 p=0,007 *	F(1,15)= 3,238 p=0,115	F(1,15)= 1,740 p=0,229	F(1,15)= 4,918 p=0,062
24 cpg	F(1,15)= 5,234 p= 0,106	F(1,15)= 0,142 p=0,731	F(1,15)= 12,242 p=0,040 *	F(1,15)= 19,440 p=0,022 *	F(1,15)= 1,105 p=0,370	F(1,15)= 151,027 p=0,001 *

A análise da Tabela 10 mostra-nos de facto que, para frequências elevadas e para as orientações  $180^\circ$  vs  $135^\circ$ ,  $45^\circ$  vs  $90^\circ$  e  $90^\circ$  vs  $135^\circ$  foram encontradas diferenças estatisticamente significativas, no entanto uma vez mais para a orientação dos  $180^\circ$  quando cruzada com a orientação dos  $45^\circ$  os resultados mostram não ser estatisticamente significativos. Uma vez mais se deve referir que esta falta de significância se deve ao facto do número de indivíduos testados ser pequeno e de as curvas de FSC apresentarem valores elevados.

## 5. Conclusões e Trabalho Futuro

O objetivo deste trabalho, que consiste na avaliação do efeito oblíquo em visão central, foi plenamente atingido. Através da utilização de um interferómetro visual (Santos, 2012) foi possível medir e determinar as curvas da FSC-Neuronal para um conjunto de oito indivíduos. Estas funções foram determinadas utilizando franjas de interferência com frequências espaciais de 2, 4, 6, 12, 18 e 24 cpg, orientadas 180°, 45°, 90° e 135°.

A partir de cada curva da FSC-Neuronal individual foram traçadas curvas médias e foram feitos estudos estatísticos a fim de mostrar a existência do efeito oblíquo na visão central do ser humano. A partir dos valores médios das curvas da FSC-Neuronal para cada frequências e para as quatro orientações foi feito um teste estatístico que evidenciou a existência de significado estatístico entre as duas variáveis em estudo (frequência e orientação espaciais) o que demonstram que as curvas da FSC-Neuronal média variam com a frequência espacial quando se consideram as quatro orientações.

Ao fazer-se uma análise considerando apenas a orientação como única variável, não nos foi dado nenhuma diferença estatística significativa, o que indica que as curvas da FSC-Neuronal média não diferem com a orientação. Mas esta conclusão estatística não parece corresponder à realidade, pois era de esperar que o contrário fosse verificado, uma vez que o efeito oblíquo se deve à variação da FSC-Neuronal com a orientação espacial. Esta aparente inconsistência de resultados poderá ter origem no reduzido número de indivíduos testados (apenas oito) e também na variabilidade entre indivíduos, isto é a diferença na FSC a 180° para os oito indivíduos é da mesma magnitude que a variação da SC para diferentes orientações. Deve chamar-se ainda atenção para o facto de os indivíduos por si só terem também um elevado grau de variabilidade. Por outro lado, o método “*stair-case*” utilizado para determinar os limiares de contraste parece não ter a precisão e sensibilidade adequadas.

No capítulo dos resultados e discussão foram feitas inúmeras análises estatísticas com o objetivo de estudar a fundo a variação da FSC-Neuronal com a orientação espacial do estímulo. Foi conclusivo que o efeito oblíquo é um efeito que está presente na visão humana tal como previsto na literatura. Assim, a quando da análise da variação do declive entre frequências espaciais médias e altas, para os pares de orientações possíveis (variação da SC para frequências médias e altas), os resultados mostram a existência de diferenças estatisticamente significativas entres os valores da FSC-Neuronal 90° vs 45° e 90° vs 135° e não para 180° vs 90° e 45° vs 135°. O cruzamento da horizontal com as orientações 45° e 135° não correu como esperado, porque os valores da SC medidos para a orientação dos 180° são algo superiores e discutíveis em relação aos obtidos na orientação dos 90°. Estas diferenças

podem ter origem na determinação dos limiares de contraste, como referido acima, e influenciar assim os resultados estatísticos obtidos.

Verificou-se ainda que o efeito oblíquo varia com a orientação do estímulo visual apresentado mas também se acentua com o aumento da frequência espacial do estímulo, conforme mostram os resultados da segunda experiência.

Os problemas atrás identificados podem ser justificados por diferentes fatores a serem melhorados em trabalho futuro. Em primeiro lugar o aumento do número de indivíduos a serem testados para obtenção de resultados mais generalizados sobre o tipo de população em estudo, neste caso, indivíduos com visão normais, ou até mesmo estudar o efeito oblíquo com a idade, estudando indivíduos jovens, adultos e idosos. Por outro lado a modificação do algoritmo “*stair-case*” apresentado neste trabalho, adaptando-o ao método dos estímulos constantes que consiste no ajuste das respostas dos indivíduos em teste a uma curva sigmoideal, o que torna o teste mais preciso e consistente.

Desenvolver um novo protocolo e medir a FSC-Global e por de-convulsão com a FSC-Neuronal chegar à FSC-Óptica do olho, e desta forma poder-se avaliá-la em termos qualitativos. Este processo pode ter grande importância na avaliação óptica do olho após cirurgia refrativa e da catarata.

Finalmente para melhorar a qualidade da imagem das franjas do interferómetro e consequente melhoria nos resultados deve-se proceder à modificação da fonte de luz incoerente, ou seja, deve retirar-se o difusor do sistema e introduzir-se uma fonte de luz independente e coerente com o mesmo comprimento de onda da fonte de luz laser, evitando desta forma o ruído provocado pelo difusor e que em frequências espaciais elevadas dificultava a tarefa de visualização das franjas de interferência.

Tendo em conta que o laser emite num comprimento de onda de 632,8nm (vermelho), pretende-se ainda no futuro investigar uma forma de projetar franjas com comprimento de onda nas regiões do azul e verde para medição da FSC-Neuronal e consequente estudo das respostas dos cones S e M também presentes na retina.

## Referências Bibliográficas

- AGUILAR M, S., WS. 1954. Saturation of the rod mechanism of the retina at high levels of stimulation. *Opt Acta (Lond)*, 1:59-65.
- APPELLE, S. 1972. Perception and Discrimination as a Function of Stimulus Orientation - Oblique Effect in Man and Animals. *Psychological Bulletin*, 78, 266-8.
- CAMISA, J. M., BLAKE, R. & LEMA, S. 1977. Effects of Temporal-Modulation on Oblique Effect in Humans. *Perception*, 6, 165-171.
- CAMPBELL, F. W. & KULIKOWS.JJ 1966. Orientational Selectivity of Human Visual System. *Journal of Physiology-London*, 187, 437-8.
- CAMPBELL, F. W., KULIKOWS.JJ & LEVINSON, J. 1966. Effect of Orientation on Visual Resolution of Gratings. *Journal of Physiology-London*, 187, 427-8.
- CAMPBELL, F. W. & MAFFEI, L. 1970. Electrophysiological Evidence for Existence of Orientation and Size Detectors in Human Visual System. *Journal of Physiology-London*, 207, 635-8.
- CORNSWEET, T. N. 1970. *Visual Perception*, New York: Academic Press.
- DEVALOIS, R. L., YUND, E. W. & HEPLER, N. 1982. The Orientation and Direction Selectivity of Cells in Macaque Visual-Cortex. *Vision Research*, 22, 531-544.
- FINLAY, B. L., SCHILLER, P. H. & VOLMAN, S. F. 1976. Meridional Differences in Orientation Sensitivity in Monkey Striate Cortex. *Brain Research*, 105, 350-352.
- FURMANSKI, C. S. & ENGEL, S. A. 2000. An oblique effect in human primary visual cortex. *Nature Neuroscience*, 3, 535-536.
- GIZZI, M. S., KATZ, E., SCHUMER, R. A. & MOVSHON, J. A. 1990. Selectivity for Orientation and Direction of Motion of Single Neurons in Cat Striate and Extrastriate Visual-Cortex. *Journal of Neurophysiology*, 63, 1529-1543.
- HECHT, E. 1998. *Optics*.
- HUBEL, D. H. & WIESEL, T. N. 1962. Receptive Fields, Binocular Interaction and Functional Architecture in Cats Visual Cortex. *Journal of Physiology-London*, 160, 106-8.
- HUBEL, D. H. & WIESEL, T. N. 1968. Receptive Fields and Functional Architecture of Monkey Striate Cortex. *Journal of Physiology-London*, 195, 215-8.
- LEEK, M. R. 2001. Adaptive procedures in psychophysical research. *Perception & Psychophysics*, 63, 1279-1292.
- LENNIE, P. 1974. Head Orientation and Meridional Variations in Acuity. *Vision Research*, 14, 107-111.
- MITCHELL, D. E., FREEMAN, R. D. & WESTHEIM.G 1967. Effect of Orientation on Modulation Sensitivity for Interference Fringes on Retina. *Journal of the Optical Society of America*, 57, 246-8.

- SANTOS, L. F. A. 2012. *Construção e Validação de um Interferómetro Visual*. Universidade da Beira Interior.
- SERRA, P. M. F. N. 2007. *The Optical Quality Of The Retinal Image in Peripheral Retina - Aberration Compared With Visual Performance*. Master of Science, University of Manchester.
- SOWDEN, P. T. & SCHYNS, P. G. 2006. Channel surfing in the visual brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 538-545.
- WILLIAMS, D. R. 1985. Aliasing in Human Foveal Vision. *Vision Research*, 25, 195-205.
- WILSON, H. R., LEVI, D., MAFFEI, L., ROVAMO, J., DE VALOIS, R. 1990. *The perception of form: Retina to striate cortex*, New York: Academic Press.
- YUNGUO YU, M. D. 2004. <http://camelot.mssm.edu/~ygyu/visualpathway.html>.

## Anexos

### Anexo 1

Parecer da Comissão Ética da Faculdade de Ciências da Saúde



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Faculdade de Ciências da Saúde

Exmo. Senhor  
Prof. Doutor Paulo Fiadeiro  
Universidade da Beira Interior

Sua Referência	Sua Data	Nossa Referência	Nossa Data
000.000.000	0000.00.00	000.000.000	2012.06.21

Assunto: Parecer da Comissão de Ética da FCS

No seguimento da solicitação de apreciação do Projecto "*Medição da Função de Sensibilidade ao Contraste Neuronal - MFSCN*", por parte da Comissão de Ética da FCS, envio em anexo o parecer resultante da análise do referido projecto de investigação.

Cordiais cumprimentos.

O Presidente da Faculdade de Ciências da Saúde  
Prof. Doutor Luís Taborda Barata



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

PARECER

**Processo:** CE-FCS-2012-016

**Data entrega processo:** 25/05/2012

**Data conclusão processo:** 13/06/2012

**Tema Projecto/Proponente:** “*Medição da Função de Sensibilidade ao Contraste Neuronal - MFSCN*” – Prof. Doutor Paulo Fiadeiro

Exmo. Sr. Presidente da Faculdade de Ciências da Saúde

Apreciado o pedido referente ao processo acima mencionado esta Comissão não detectou matéria que ofenda os princípios éticos.

Covilhã, 21 Junho 2012

O Presidente da Comissão de Ética  
Prof. Doutor José Martinez de Oliveira



O Vice-Presidente da Comissão de Ética  
Prof. Doutor Joaquim Viana

## Anexo 2

### CARTA EXPLICATIVA PARA OBTENÇÃO DO CONSENTIMENTO NA PARTICIPAÇÃO NO ESTUDO DE VALIDAÇÃO DE UM INTERFERÓMETRO VISUAL PARA MEDIÇÃO DA FUNÇÃO DE SENSIBILIDADE AO CONTRASTE NEURONAL VISÃO CENTRAL

Exmo Sr(a). Vimos por este meio solicitar a vossa participação num trabalho de investigação, envolvendo uma experiência baseada num interferómetro visual que irá permitir medir a função de sensibilidade ao contraste neuronal em visão central. O objectivo deste estudo é validar o interferómetro visual e estudar a FSC-Neuronal.

Informamos V.Exa, que os testes a efectuar são indolores, não invasivos, sem quaisquer complicações ou riscos. O teste consiste na visualização de um conjunto franjas de interferência (claras e escuras) e com uma dada orientação fixa e de contraste variável e na recolha de uma resposta Sim/Não, através de uma caixa de respostas, consoante as franjas sejam ou não visíveis. Para possibilitar a análise dos dados obtidos estes serão registados em suporte informático. Apenas a equipa de investigação tem acesso aos dados dos participantes e respectivos resultados.

Agradecemos a sua participação no estudo e informamos que poderá desistir do mesmo sempre que julgar estar desconfortável ou por qualquer outro motivo.

Em caso de dúvidas, contactar o responsável do estudo, Professor Doutor Paulo Torrão Fiadeiro, através do email [fiadeiro@ubi.pt](mailto:fiadeiro@ubi.pt). A experiência é realizada pelos licenciados em Optometria - Ciências da Visão, Luís Filipe Antunes Santos, ([L.santos\\_20@yahoo.com](mailto:L.santos_20@yahoo.com)) e/ou João Pedro Calcado Corte Real, ([cabilhas\\_cde@hotmail.com](mailto:cabilhas_cde@hotmail.com)).

✕

Eu, \_\_\_\_\_, consinto participar num estudo baseado num interferómetro visual que irá permitir medir a função de sensibilidade ao contraste neuronal em visão central. Foi-me explicado o objectivo experimental do protocolo. Fui informado que poderei interromper a participação na investigação sempre que for esta a minha decisão, sem que daí resulte alguma repercussão. Finalmente foi-me explicado o procedimento dos exames.

\_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ de 20\_\_

Assinatura

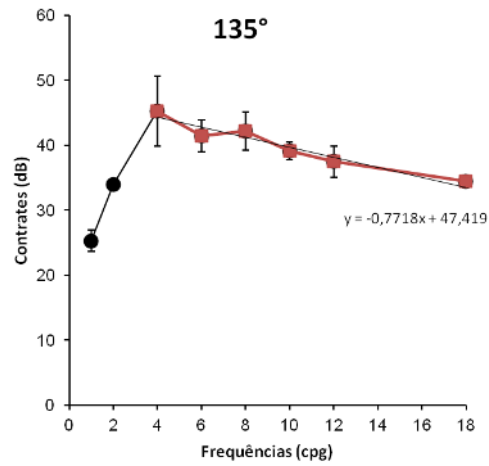
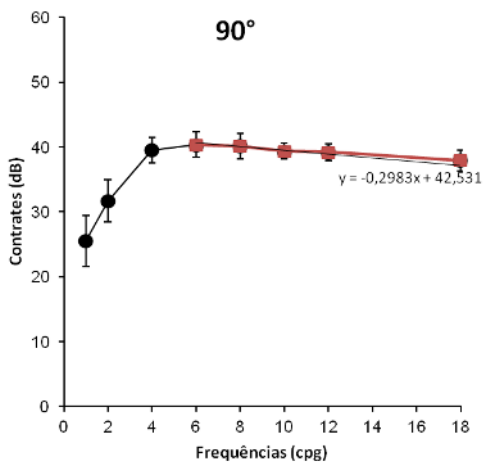
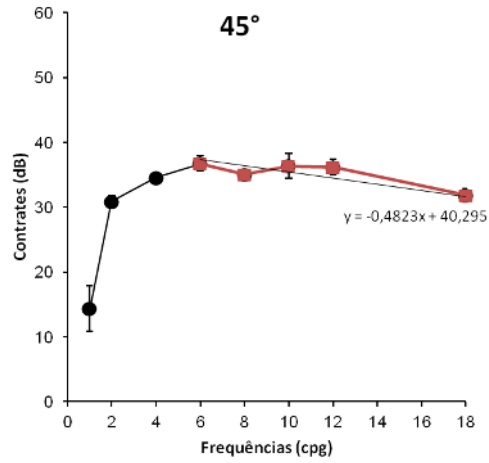
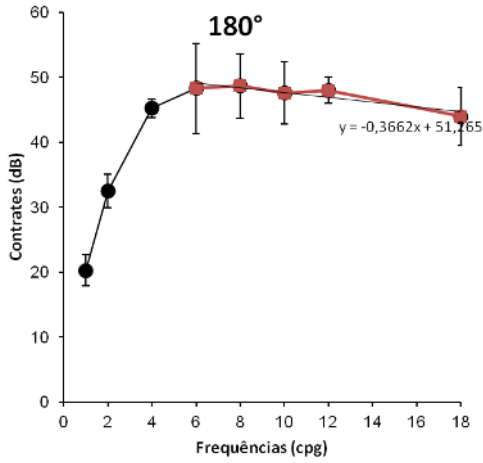
REF: 

(Preencher o Examinador)

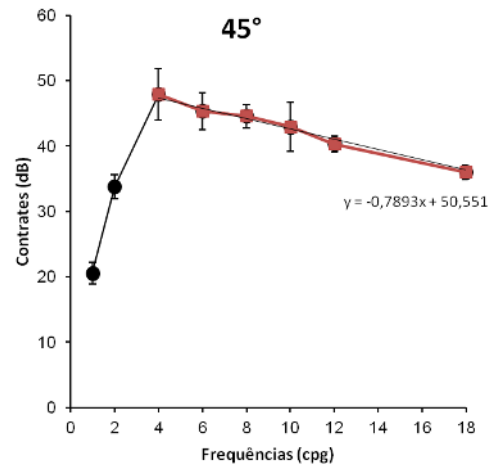
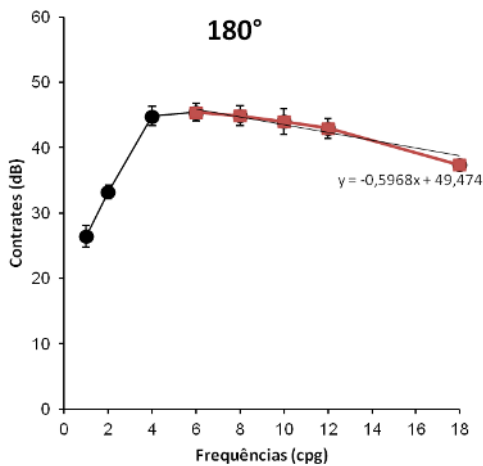
### Anexo 3

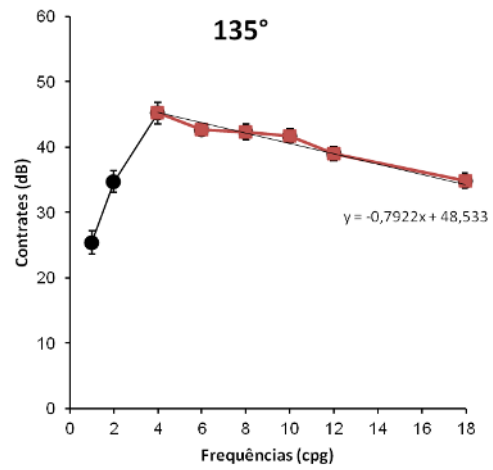
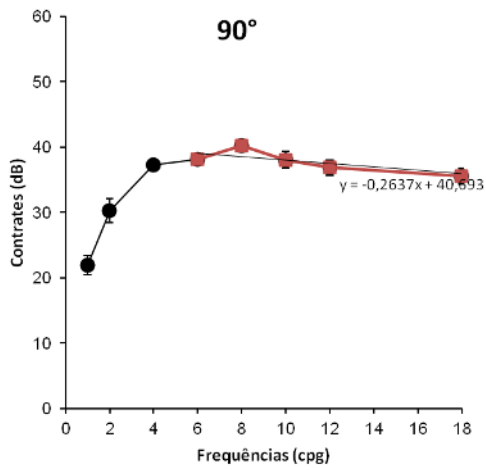
Traçado do declive para as quatro curvas da FSC média dos restantes 7 indivíduos.

#### Indivíduo 2

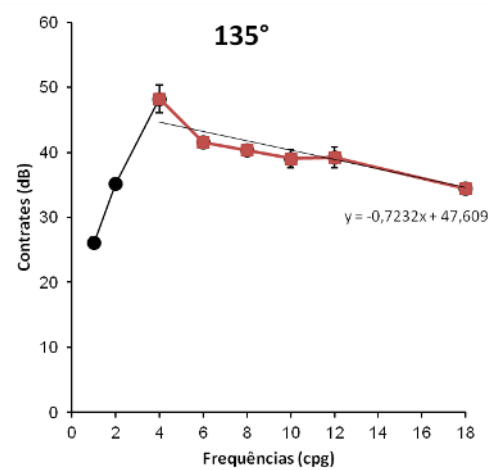
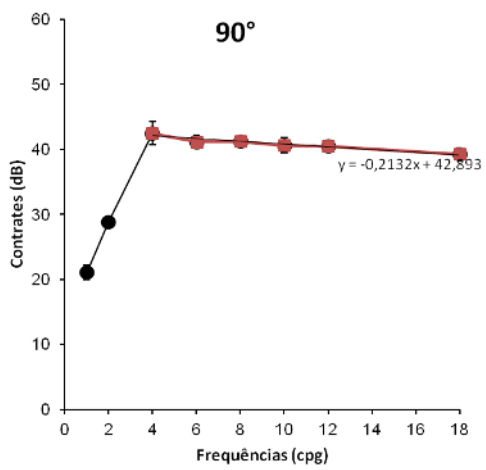
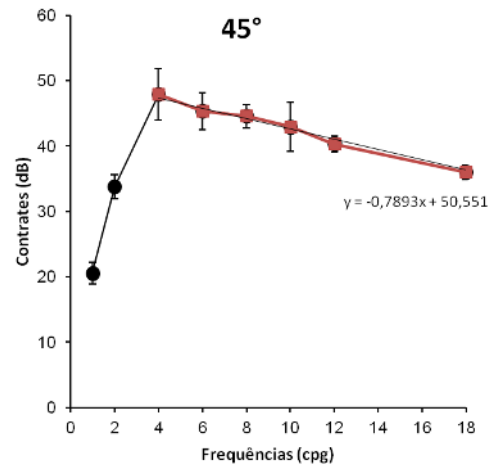
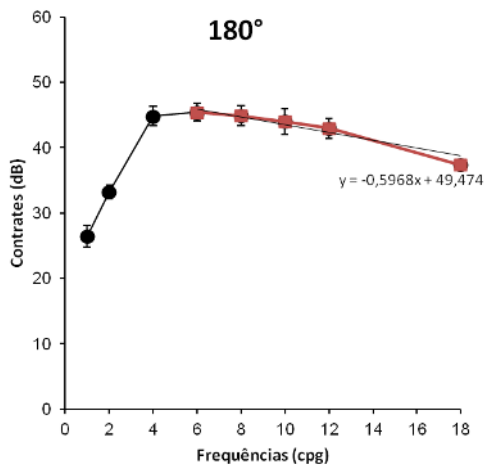


#### Indivíduo 3

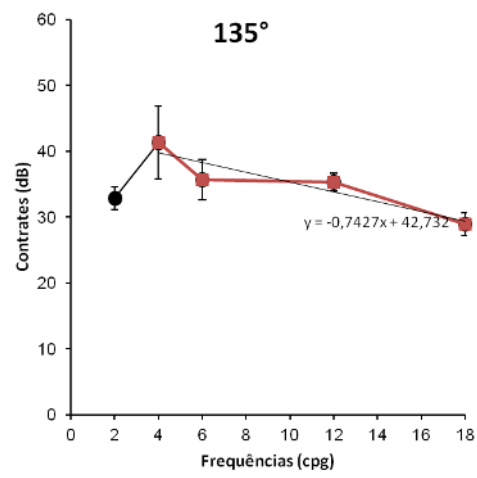
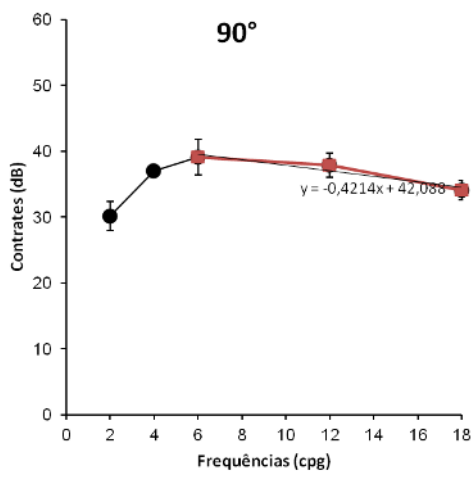
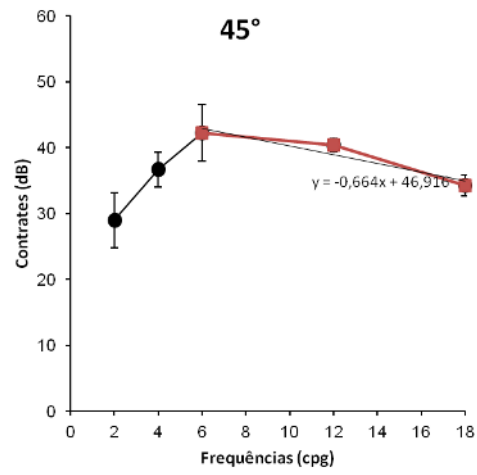
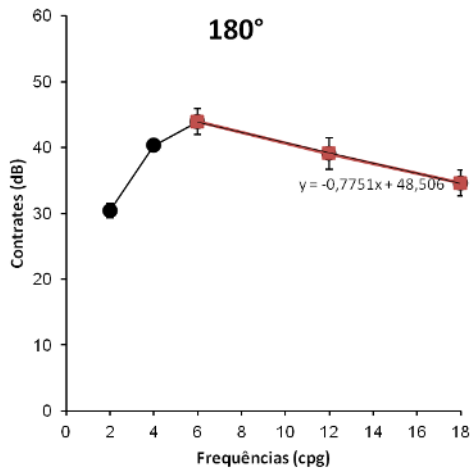




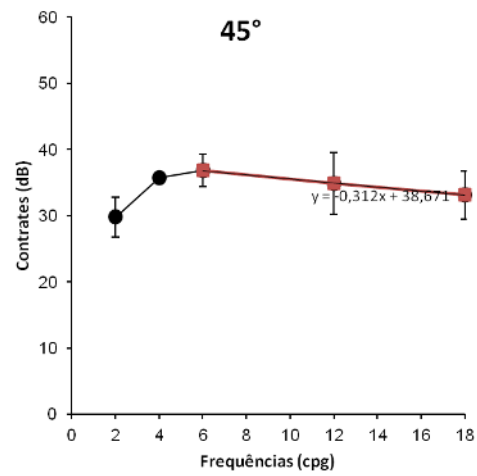
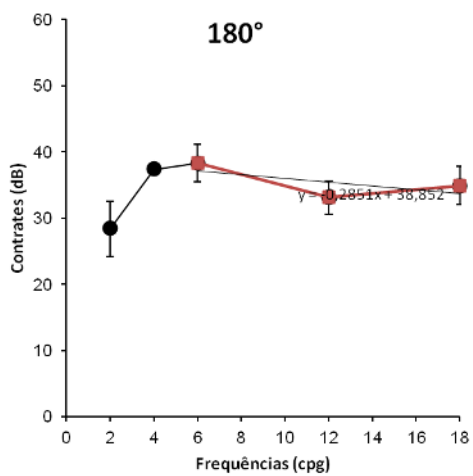
Indivíduo 4

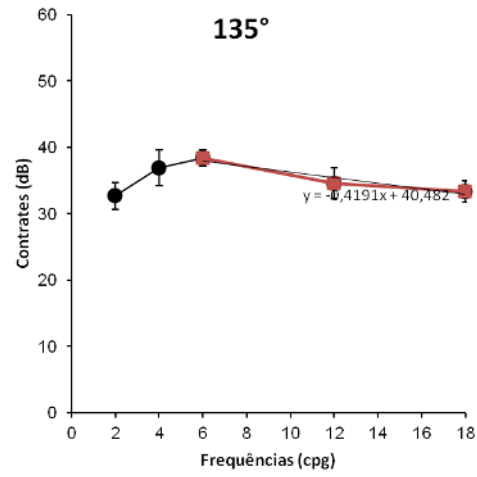
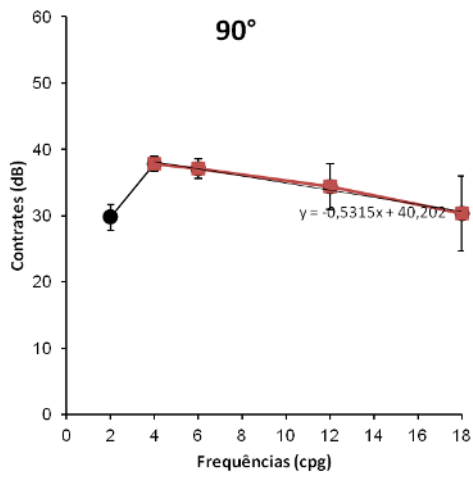


Indivíduo 5

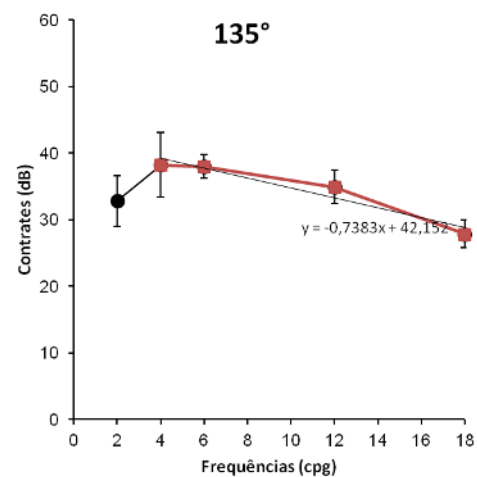
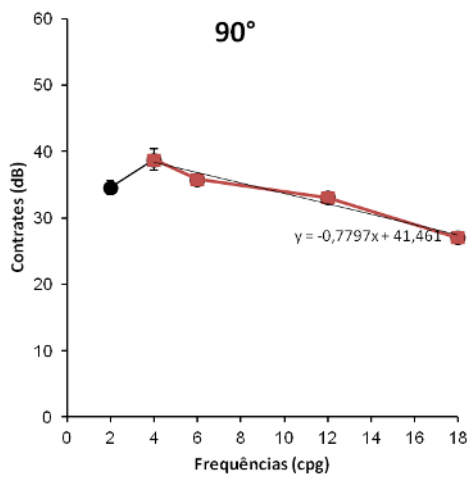
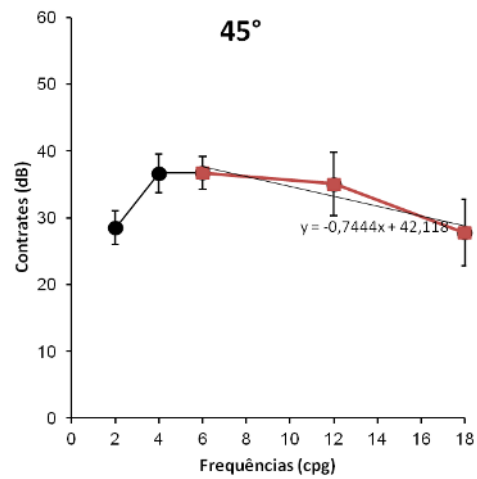
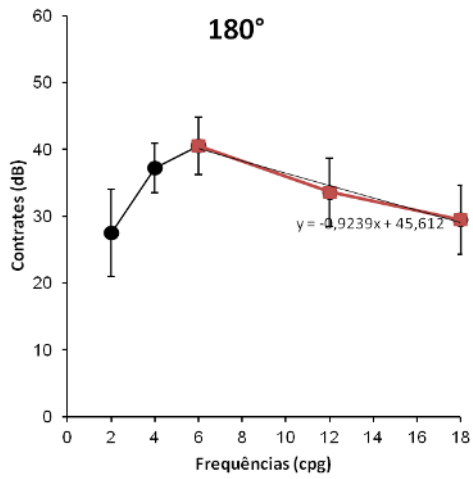


Indivíduo 6





Indivíduo 7



Indivíduo 8

