



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências da Saúde

Avaliação Objetiva da Acuidade Visual

João Miguel Oliveira Alves

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Optometria - Ciências da Visão
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Miguel Fernandes da Nave Serra
Co-orientador: Prof. Doutor Paulo Torrão Fiadeiro

Covilhã, Outubro de 2015

Dedicatória

Esta dissertação é dedicada à minha família, em especial ao meu falecido Pai.

Agradecimentos

Durante a realização desta dissertação muitas pessoas contribuíram para o seu sucesso de uma maneira ou outra, mesmo por vezes sem terem qualquer tipo de influência direta. A todas essas pessoas quero expressar a minha gratidão, pois sem elas não teria conseguido realizar este trabalho:

- Ao Professor Doutor Paulo Fiadeiro, foi mais que um orientador, foi um colega e um amigo que me auxiliou não só na conceção da plataforma informática de forma crucial como em todos os outros pontos da escrita e realização da dissertação. Agradeço também todo o apoio, motivação e disponibilidade que teve durante todo este percurso.

-Ao Professor Doutor Pedro Serra, por todo o conhecimento científico, conselhos, orientação e ajuda em algumas das fases mais complicadas do processo experimental e da escrita. Pelo apoio, motivação transmitida e disponibilidade, foi também mais que um orientador, um colega e um amigo.

- A toda a minha Família, em especial à minha mãe e avós que me permitiram ter o privilégio de estudar e chegar a estar patamar e também ao meu irmão, por todo o incentivo e interesse que demonstrou pelo meu trabalho. Sem eles nunca teria chegado tão longe.

- A todos os meus amigos mais próximos, tanto da Covilhã como de Castelo Branco, pelo apoio, motivação, ajuda e acima de tudo amizade, que tanta força me deu para conseguir fazer esta dissertação, mesmo para aqueles que podem nem ter participado e que podem nem ter estado tão envolvidos no meu trabalho. Especial agradecimento às pessoas do meu ano que fizeram este percurso de escrita da tese comigo.

- Às pessoas que perderam o seu tempo para participar nesta dissertação e constituíram as amostras que me permitiram realizar tudo a que me propus.

A todos um enorme e sincero obrigado do fundo meu coração.

Resumo

Introdução: A técnica de Olhar Preferencial permite medir a acuidade visual em indivíduos que não verbalizam respostas. Existem técnicas de olhar preferencial que se baseiam na apresentação de cartas. Estas têm como principal inconveniente dependerem do operador das próprias cartas e a sua demonstração ser morosa. A utilização de técnicas objetivas para medição do olhar preferencial poderá melhorar o desempenho dos testes com esta técnica.

Objetivo: O objetivo deste estudo centra-se na construção de um teste de olhar preferencial numa plataforma informática que permita fazer medições automáticas e objetivas de acuidade visual sem qualquer tipo de resposta do indivíduo em teste e sem qualquer tipo de influência subjetiva de um operador humano.

Métodos: Este estudo foi dividido em três experiências. A experiência 1, com uma amostra de 29 indivíduos compensados, avaliou as características do olhar preferencial para um estímulo visível e não visível. A experiência 2, englobou 20 indivíduos com erro refrativo não compensado. Foi apresentado um nível de acuidade visual (riscas quadradas verticais com frequência espacial equivalente a 0.00 logMAR). O olhar dos indivíduos foi registado para concluir se via ou não o estímulo. Esta decisão foi comparada com um limiar de detecção para o mesmo estímulo. Na experiência 3, mesma amostra da experiência 2, consistiu na utilização da técnica de olhar preferencial e a apresentação de estímulos com diferentes frequências espaciais. Os valores do tempo de fixação relativo do estímulo foram modelados com uma curva sigmoideal.

Resultados: A experiência 1 demonstrou que o tempo que um indivíduo passa a olhar para o campo do monitor que apresenta um estímulo visível é superior a quando o estímulo não é visível. Na experiência 2 o teste de olhar preferencial identificou corretamente 70% dos indivíduos testados. Na experiência 3 o melhor coeficiente de determinação da comparação foi entre o teste de olhar preferencial e os E's rotativos ($R^2 = 0.769$). Uma dioptria de erro refrativo esférico demonstrou a diminuir a acuidade visual medida com E's rotativos em 0.25 logMAR, no teste de olhar preferencial foi cerca de 0.05 a 0.1 logMAR.

Conclusões: O teste de olhar preferencial desenvolvido permite determinar a direção do olhar e indicar se o estímulo é visto ou não. A utilização da métrica do tempo de fixação relativo permite medir o valor da acuidade visual nos indivíduos testados.

Palavras-chave

Olhar Preferencial, Acuidade Visual, Tempo de Fixação Relativo, Erro Refrativo

Abstract

Introduction: The preferential looking method allows the measurement of visual acuity in people that can't verbalize their answers. There are preferential looking techniques that use the presentation of cards. Their biggest inconvenience is how they depend greatly on the operator of the cards and their presentations are lengthy. The usage of objective techniques for the measurement of preferential looking might improve the performance of the tests with this technique.

Objective: The objective of this study is to build a preferential looking test in an informatics platform that allows automatic and accurate measurements of visual acuity, without the necessity of any kind of answer of the subject in test and without any kind of subjective influence of a human test operator.

Methods: This study was divided into three experiments. Experiment 1, with a sample of 29 corrected subjects, evaluated the preferential looking characteristics for a stimulus when it's visible, and when it's not. Experiment 2 had a sample of 20 subjects with uncorrected refractive error. A certain level of visual acuity was presented (vertical square wave gratings with a spatial frequency equivalent to 0.00 logMAR). The gaze of the subjects was registered so that a conclusion could be made on either the stimulus being seen or not. This decision was compared to a detection threshold of the same stimulus. In experiment 3, with the same sample of experiment 2, the preferential looking technique was used in the presentation various stimulus with different spatial frequencies. The values of the relative fixation time of subjects that observed the stimulus were modulated with a sigmoidal curve.

Results: Experiment 1 proved that the period of time that a subject takes looking at the field of the monitor that presents the visible stimulus is superior to when the stimulus is not visible. In experiment 2 the preferential looking test correctly identified 70% of the tested subjects. In experiment 3 the best comparison determination coefficient was between the preferential looking test and the rotating E's test ($R^2 = 0.769$). It was proven that one dioptre of spherical refractive error diminishes visual acuity measure with the rotating E's by 0.25 logMAR, in the preferential looking test this value was about 0.05 to 0.1 logMAR.

Conclusions: The preferential looking test developed allows the determination of the direction of the gaze and can tell if the stimulus was seen or not. The usage of the relative fixation time metric gives the possibility of measuring the value of visual acuity in tested subjects.

Keywords

Preferential Looking, Visual Acuity, Relative Fixation Time, Refractive Error

Índice

| | |
|---|-----------|
| Dedicatória | iii |
| Agradecimentos | iv |
| Resumo | v |
| Abstract | vi |
| Índice | vii |
| Lista de Figuras | ix |
| Lista de Tabelas | xi |
| Lista de Acrónimos | xii |
| Capítulo 1 - Introdução | 1 |
| Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica | 3 |
| 2.1 Acuidade Visual | 3 |
| 2.2 Medição de Acuidade Visual através do Olhar Preferencial | 5 |
| 2.3 Detecção Automática do Olhar Preferencial | 12 |
| 2.4 Relação entre Acuidade Visual Medida com Optótipos e Redes Quadradas ou Sinusoidais | 13 |
| Capítulo 3 - Métodos | 16 |
| 3.1 Introdução | 16 |
| 3.2 Apresentação e Controlo dos Estímulos Visuais | 17 |
| 3.3 Aquisição, Controlo, Registo e Processamento de Imagens | 19 |
| 3.4 Procedimento de Calibração | 23 |
| Capítulo 4 - Experiência 1 | 25 |
| 4.1 Introdução | 25 |
| 4.2 Métodos | 25 |
| 4.2.1 Participantes | 25 |
| 4.2.2 Determinação do Limiar ao Contraste de um Estímulo Sinusoidal | 26 |
| 4.2.3 Caracterização do Olhar Preferencial | 26 |
| 4.2.3.1 Métricas Características do Olhar Preferencial | 27 |
| 4.2.4 Estatística | 28 |
| 4.3 Resultados e Discussão | 28 |
| 4.3.1 Tempo de Fixação Relativo | 28 |
| 4.3.2 Padrão de Fixações | 29 |
| 4.3.3 Cálculo da Sensibilidade e Especificidade da Métrica RFT | 29 |
| 4.4 Conclusões | 32 |
| Capítulo 5 - Experiência 2 | 34 |
| 5.1 Introdução | 34 |
| 5.2 Métodos | 34 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2.1 Participantes | 34 |
| 5.2.2 Medição de Acuidade Visual com o Teste em Escada | 35 |
| 5.2.3 Avaliação da Acuidade Visual com o Teste de Olhar Preferencial | 35 |
| 5.2.4 Estatística | 36 |
| 5.3 Resultados e Discussão | 36 |
| 5.4 Conclusões | 37 |
| Capítulo 6 - Experiência 3 | 39 |
| 6.1 Introdução | 39 |
| 6.2 Métodos | 39 |
| 6.2.1 Participantes | 39 |
| 6.2.2 Medição de Acuidade Visual com o Teste em Escada | 39 |
| 6.2.3 Medição de Acuidade Visual com uma carta ETDRS com E's | |
| Rotativos de Snellen | 39 |
| 6.2.4 Medição de Acuidade Visual com o Teste em Escada | 40 |
| 6.3 Resultados e Discussão | 42 |
| 6.3.1 Determinação da Acuidade Visual através do Olhar Preferencial | 42 |
| 6.3.2 Comparação das medições de Acuidade Visual dos E's Rotativos, | |
| Teste em Escada e Olhar Preferencial | 43 |
| 6.3.3 Relação da Acuidade Visual com o Erro Refrativo | 45 |
| 6.4 Conclusões | 48 |
| Capítulo 7 - Conclusões Finais e Trabalhos Futuros | 49 |
| Bibliografia | 51 |
| ANEXOS | 53 |
| ANEXO I - Parecer da Comissão de Ética da Faculdade de Ciências da Saúde da | |
| Universidade da Beira Interior | 54 |
| ANEXO II - Consentimento Informado | 56 |

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Para uma AV de 1.0 (20/20) a uma distancia de 6 metros, um detalhe do optótipo corresponde a 1 minuto de arco na sua projeção no olho. Logo o MAR corresponde a 1 minuto de arco e o seu valor em logMAR é 0.

Figura 2.2- Carta tradicional de Snellen para a medição de AV.

Figura 2.3- Vários tipos de Cartas ETDRS. Começando em cima e da esquerda para direita: primeiro temos uma carta ETDRS com C's de Landolt, de seguida uma com E's de Snellen, outra apenas com números. Agora em baixo e a começar na esquerda, uma carta HOTV, no meio temos uma carta com os símbolos de Lea e por fim uma carta ETDRS tradicional de letras.

Figura 2.4 - Conjunto de cartas de Teller modernas (Teller Acuity Cards - TAC).

Figura 2.5 - Exemplo da notação de um *short staircase*.

Figura 2.6 - Cartas com as várias figuras de Kay.

Figura 2.7 - Exemplo de uma das cartas de Cardiff, usando uma das figuras de Kay, desenhada sobre um fundo cinzento.

Figura 2.8 - Esquema exemplificativo de como o estímulo era apresentado, por Sturm, aos indivíduos, com três retângulos a apresentar um fundo uniforme cinzento e um deles com o estímulo, rede quadrada preta e branca. Podemos observar também um padrão de RFT de um indivíduo em teste, através dos pontos vermelhos.

Figura 2.9 - O efeito da desfocagem sobre a AV nos três diferentes métodos avaliados: Optótipos normais (sem crowding), optótipos aglomerados (crowding) e redes quadradas.

Figura 2.10 - Função de transferência de modulação (FTM) do olho humano com cerca de 3.00D de desfocagem. Podemos ver o primeiro ponto em que chegamos ao zero, e à medida que a frequência espacial vai aumentando o pico das inversões vai diminuindo gradualmente.

Figura 3.1 - Representação esquemática da montagem experimental implementada.

Figura 3.2 - Fotografias da montagem experimental implementada.

Figura 3.3 - Representação típica dos estímulos visuais globais para as experiência 1 e 2, respetivamente em a) e b).

Figura 3.4 - Representação típica do estímulo visual global de calibração/alinhamento do olhar do indivíduo.

Figura 3.5 - Imagens completa e da ROI de um determinado indivíduo.

Figura 3.6 - Sequência de transformações e de processamento às imagens das sub-ROI's relativas ao olho OD de uma hipotética aquisição.

Figura 4.1 - Janela tipo da apresentação para determinação do OP. Estímulo à direita e campo nulo à esquerda.

Figura 4.2 - Histogramas dos RFT's para um estímulo supra-limiar, gráfico a) e infra-limiar gráfico b). Cada histograma inclui 290 apresentações (29 indivíduos x 10 observações cada).

Figura 4.3 - Histograma do número de fixações dos 29 examinandos para um estímulo supra-limiar, gráfico a) e infra-limiar, gráfico b). Cada gráfico inclui 290 apresentações.

Figura 4.4 - Gráfico com as curvas de ROC representadas de forma cumulativa. São representadas as 10 curvas indicativas das 10 apresentações efetuadas. A indicar que a curva apresentação 1 é calculada quando usado o RFT de 1 apresentação e a curva apresentação 10 usa o RFT médio das 10 apresentações.

Figura 4.5 - Representação dos valores de AUC da tabela 4.1 através de uma curva.

Figura 4.6 - Curva ROC correspondente às 6 repetições onde está assinalado o ponto mais próximo (círculo vermelho) da coordenada (1 - especificidade = 0) & sensibilidade = 1.

Figura 6.1 - Carta de medição de AV ETDRS com E's rotativos que foi utilizada na medição das AV's para a experiência 3.

Figura 6.2 - Janela tipo da apresentação que o teste de medição de AV com OP mostra no monitor, com o estímulo do lado direito (campo com estímulo) e com o padrão homogéneo (campo neutro) do lado esquerdo.

Figura 6.3 - Gráfico da curva sigmoideal da AV de um dos indivíduos testados, onde é feito um corte na curva de onde o programa recolhe a AV final.

Figura 6.4 - Gráficos das curvas sigmoideais pertencentes a 4 indivíduos da amostra analisada.

Figura 6.5 - Gráfico de dispersão com a comparação das medições de AV entre os E's de Snellen e o teste em escada.

Figura 6.7 - Gráfico de dispersão com a comparação das medições de AV entre o teste em escada e o teste de OP.

Figura 6.6 - Gráfico de dispersão com a comparação das medições de AV entre os E's rotativos e o teste de OP.

Figura 6.8 - Gráfico de dispersão com a relação da AV com o erro refrativo dos indivíduos no teste com a carta dos E's rotativos.

Figura 6.9 - Gráfico de dispersão com a relação da AV com o erro refrativo dos indivíduos no teste em escada.

Figura 6.10 - Gráfico de dispersão com a relação da AV com o erro refrativo dos indivíduos no teste do olhar preferencial.

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 - Valores da área abaixo da curva, com o respectivo desvio padrão e a sua significância assintótica.

Tabela 5.1 - Representação dos resultados dos 2 testes realizado aos 20 indivíduos.

Tabela 5.2 - Representação sumária dos resultados dos 2 testes realizado aos 20 indivíduos.

Tabela 6.1 - Média das AV's medidas com cada um dos três diferentes testes, com o seu respectivo desvio padrão

Lista de Acrónimos

FCS - Faculdade Ciências da Saúde

UBI - Universidade da Beira Interior

AV - Acuidade Visual

CO - Centro de Ótica

MAR - *Minimum Angle of Resolution*

ETDRS - *Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study*

FPL - *Forced choice Preferential Looking*

TAC - *Teller Acuity Cards*

Cm - centímetros

ACP - *Acuity Card Procedure*

RFT - *Relative Fixation Time*

D - Dioptrias

FTM - *Função de Transferência de Modulação*

LED - *Light Emitting Diode*

mm - milímetros

ROI - *Region Of Interest*

ms - milissegundos

OS - *Oculus Sinister*

OD - *Oculus Dexter*

dB - Decibéis

ROC - *Receiver Operation Characteristic curve*

AUC - *Area Under Curve*

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 Objetiva da Acuidade Visual”. Todos os trabalhos que levam à medição objetiva da Acuidade Visual (AV) foram desenvolvidos nos laboratórios do Centro de Ótica (CO) da Universidade da Beira Interior no âmbito do projeto mencionado.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma plataforma informática que permite fazer medições de AV's de forma objetiva e automática. Para atingir este objetivo foi usado um detetor de imagens que capta imagens dos movimentos do olhar indivíduos que são processadas utilizando uma técnica para medição da AV conhecida como técnica do Olhar Preferencial (OP). Foram feitas três experiências, na primeira foram avaliadas duas características métricas do OP, o tempo de fixação relativo e o padrão de fixação. Na segunda foi desenvolvida e testada uma plataforma informática com o objetivo de avaliar o desempenho de um teste de OP numa população de indivíduos com erro refrativo. Na terceira foi desenvolvida e testada uma outra plataforma informática com o objetivo de fazer uma medição de AV de forma objetiva e rápida, baseado num teste de OP.

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

No capítulo Revisão Bibliográfica, são abordados os primeiros trabalhos sobre AV e como este conceito foi evoluindo ao longo do tempo. São também abordados trabalhos onde falam sobre o surgimento da técnica de OP e o seu desenvolvimento, tal como a comparação entre a AV medida com optótipos e a AV medida com redes quadradas sinusoidais. No fim deste capítulo é feita referência a um trabalho onde já se realizou uma detecção automática do OP e onde são explicados alguns conceitos base que permitem compreender a abordagem que foi feita à questão de OP nesta dissertação.

No capítulo Métodos, é apresentada a metodologia geral que foi utilizada para o desenvolvimento desta investigação. É feita uma representação da montagem experimental tal como é explicado o modo como os estímulos são apresentados no monitor e controlados pela plataforma informática. De seguida é explicado como é feita a aquisição das imagens pela plataforma, mas também o seu controlo, registo e o posterior processamento destas imagens. É ainda explicado um procedimento de calibração que a plataforma informática necessita de realizar antes de ser feito qualquer outro teste que envolva a captação de imagens.

O capítulo Experiência 1, aborda a primeira experiência realizada, começando com uma pequena introdução sobre o que se quis realizar nesta experiência seguindo-se depois a

descrição da metodologia usada na experiência, em particular a forma como foi determinado o limiar de contraste que depois é usado num teste que permite fazer uma caracterização do OP. É depois realizada uma apresentação e discussão dos resultados através da apresentação dos dados obtidos na experiência através de gráficos tal como uma análise estatística dos mesmos. No fim é feita uma pequena conclusão sobre a análise destes dados.

O capítulo Experiência 2, inicialmente, tem uma pequena introdução e depois a metodologia da experiência, onde descreve a amostra e dos testes de medição de AV que foram aplicados, tal como da estatística que foi posteriormente utilizada para análise dos dados. De seguida tem um subcapítulo de resultados e discussão e outro onde são referenciadas as conclusões obtidas no fim da experiência.

O capítulo Experiência 3 começa com uma pequena introdução sobre a mesma, depois um subcapítulo de métodos onde se aborda a amostra e os testes que foram realizados. De novo, volta a ter um subcapítulo onde são apresentados os dados e resultados e depois um subcapítulo com uma breve conclusão.

O último capítulo, identificado como Conclusões e Trabalhos Futuros, faz um ponto da situação de toda a dissertação e aborda ainda possíveis melhoramentos, questões não exploradas e ideias que possam ser realizadas no futuro.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Acuidade Visual

Um dos objetivos principais de um clínico de saúde visual consiste em otimizar a capacidade de resolver detalhe, nascendo assim um dos conceitos base das ciências da visão, a AV. Pode-se definir a AV como sendo a capacidade que a pessoa tem para detetar, resolver ou reconhecer detalhes finos de objetos apresentados no espaço. A AV é quantificada através do tamanho mínimo que um objeto tem de ter de forma ao indivíduo identificar, distinguir ou simplesmente detetar esse objeto. Mais concretamente a AV é a medida do menor ângulo formado pelo detalhe de um objeto a uma determinada distância. Este ângulo designa-se ângulo mínimo de resolução, normalmente abreviados na sigla MAR (do inglês Minimum Angle of Resolution).

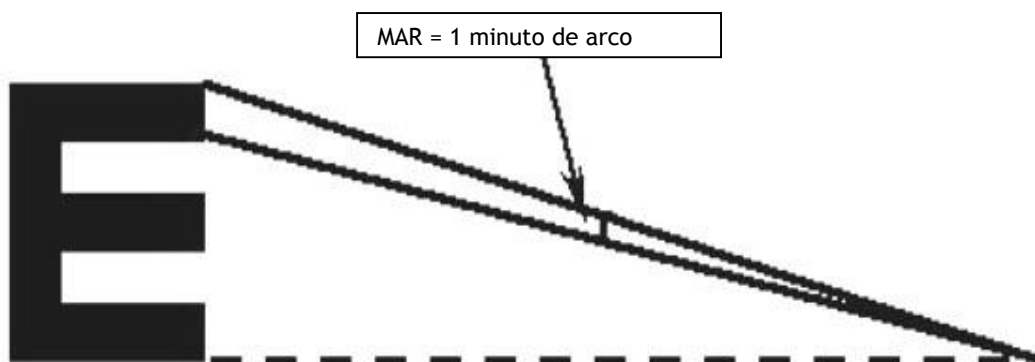


Figura 2.1 - Para uma AV de 1.0 (20/20) a uma distancia de 6 metros, um detalhe do optótipo corresponde a 1 minuto de arco na sua projeção no olho. Logo o MAR corresponde a 1 minuto de arco e o seu valor em logMAR é 0.

Retirado e adaptado de: (<http://webvision.med.utah.edu/>)

Os primeiros conceitos do que se pode considerar como a AV moderna nasceram das ideias de Franciscus Donders em 1861. Este definiu uma medida padrão, dizendo que um olho normal consegue ver uma letra com aproximadamente 5 minutos de arco. A capacidade de resolução de um indivíduo relaciona-se com a capacidade de resolução do olho normal, através do conceito de Ampliação Necessária:

$$\frac{(\text{Tamanho visto por um individuo})}{(\text{Tamanho visto pelo olho normal})} = \text{Ampliação Necessária} \quad (2.1)$$

Já a AV relaciona-se com a Ampliação Necessária da seguinte forma:

$$\text{Acuidade Visual} = 1/\text{Ampliação Necessária} \quad (2.2)$$

Snellen em 1862 introduziu várias inovações relativas à AV, uma delas foi a utilização de letras às quais chamou optótipos os quais eram reconhecidos facilmente por observadores normais, e foram dispostas de forma a serem usadas como um teste de visão ao longe. Outra inovação foi

a definição da referência padrão, que é conhecida hoje como 20/20, como a habilidade de reconhecer os optótipos quando estes subtendem um MAR de 5 minutos de arco a 6 metros (20 pés). As cartas de optótipos de Snellen originais têm uma forma retangular com sete filas de letras nas quais o tamanho das letras diminui progressivamente.

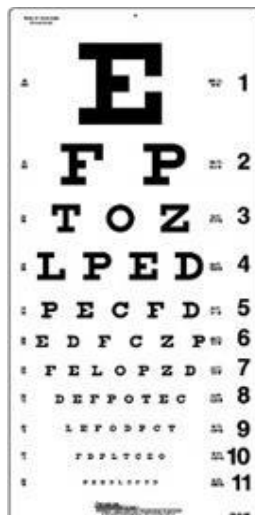


Figura 1.2- Carta tradicional de Snellen para a medição de AV.

Retirado e adaptado de: (<http://precision-vision.com>)

Monoyer em 1875 introduziu a notação decimal referida anteriormente e que hoje em dia é uma das notações mais utilizadas. Landolt em 1888 apresentou um novo tipo de optótipo, conhecidos como os C's de Landolt, os quais se tornaram populares e amplamente utilizados. Estes C's de Landolt são anéis com uma abertura que lhes dão uma aparência semelhante a um C, daí o seu nome. Esta abertura pode estar localizada em diferentes direções do optótipo, sendo as posições mais comuns cima, baixo, esquerda ou direita. Ao medir a AV com estes optótipos o indivíduo indica para que lado estão viradas as aberturas dos anéis, o tamanho deste, tal como a sua abertura vão diminuindo gradualmente até o indivíduo não conseguir referir corretamente para onde estão direcionadas as aberturas.

No entanto, em 1867 já Green apresentou uma carta de optótipos muito semelhante àquelas que hoje são conhecidas como as cartas ETDRS (do inglês *Early Treatment of Diabetic Retinopathy Study*) e consideradas atualmente como a carta de AV padrão. As cartas apresentadas por Green diferiam das Cartas de Snellen nos seguintes pontos: as cartas de Green tinham uma progressão logarítmica no aumento do tamanho das letras de 25%, ao passo que as cartas de Snellen tinham uma progressão irregular, que variava desde os 14% aos 100%; Green ao contrário de Snellen sugeria a utilização de letras sem serifas; e por último o espaçamento entre as letras não era constante ao longo das linhas, mas sim proporcional ao tamanho das letras. Estas três propostas de Green estão de acordo com algumas das características das cartas ETDRS. Sendo a única diferença para as ETDRS cartas modernas o número de letras que as cartas de Green tinham por linha era variável chegando a até às 11 letras, enquanto as cartas ETDRS têm 5 letras por linha(1).

Sloan em 1959 redesenhou as letras criadas por Snellen eliminando as serifas, Sloan também propôs um novo termo, chamado de unidade M (M unit), que servia para quantificar o tamanho dos optótipos e simplificar a notação criada por Snellen(2). Em 1976 Ian Bailey e Jan E Lovie-Kitchin propuseram as cartas agora conhecidas como cartas Bailey-Lovie, estas cartas possuem 5 letras por linha, espaçadas entre si de forma proporcional.(3) Em 1982 foram criadas cartas de medição de AV utilizadas no ETDRS, cartas que foram criadas pelo *National Eye Institute* e ficaram mesmo conhecidas como as cartas ETDRS. Estas cartas combinam as cartas de Sloan ao utilizar letras sem serifas, com o espaçamento proporcional e as 5 letras por linhas das cartas de Bailey Lovie mas também a progressão logarítmica idealizada por Green. As cartas ETDRS são hoje consideradas como aquilo a que se chama o “*Gold Standard*” (Padrão de Ouro) na medição da AV. Como referido, as cartas ETDRS seguem a progressão logarítmica de Green, tem um crescimento uniforme do tamanho das letras de linha para linha de 25% e têm sempre 5 optótipos por linha, sendo que no total estas cartas têm 14 linhas com optótipos (de 1.0 logMAR a -0.3 logMAR), o que dá um total de 70 letras, com cada letra a ter um valor de 0.02 logMAR.(1, 4).

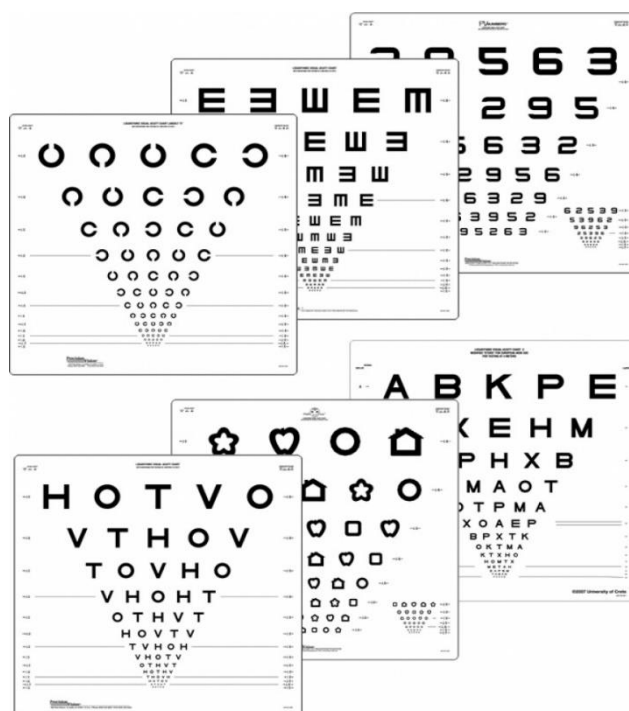


Figura 2.3- Vários tipos de Cartas ETDRS. Começando em cima e da esquerda para direita: primeiro temos uma carta ETDRS com C's de Landolt, de seguida uma com E's de Snellen, outra apenas com números. Agora em baixo e a começar na esquerda, uma carta H-O-T-V-O, no meio temos uma carta com os símbolos de Lea e por fim uma carta ETDRS tradicional de letras.

Retirado e adaptado de: (<http://precision-vision.com>)

2.2 Medição de Acuidade Visual através do Olhar Preferencial

Quando se fala no tipo de cartas referidas anteriormente, existe um factor que se tem de verificar nestes testes, é necessária uma resposta verbal do indivíduo. A avaliação da AV requer assim uma resposta do indivíduo, mesmo que este seja uma criança ou adulto iliterato. Existem

formas de contornar a incapacidade para nomear número ou letras, utilizando para tal cartas compostas com os C's de Landolt, E's de Snellen, símbolos de LEA, o método de Sheridan-Gardiner(5). O factor do feedback do indivíduo, seja a indicar para que lado está virada a abertura no C (C's de Landolt) ou para onde estão viradas as “pernas” do E (E's de Snellen) ou a combinação do símbolo (letra no caso do método de Sheridan-Gardiner) da carta mostrada a uma distância específica com o símbolo próximo do indivíduo (símbolos de Lea) existe sempre. Nos casos em que o indivíduo não consiga dar uma resposta verbal ou nos quais a resposta não é fiável, têm que ser usadas estratégias alternativas para a avaliação da AV.

Para que estes casos sejam contornados e existam alternativas viáveis foram testadas ideias que se baseiam em características fisiológicas do Ser Humano. Foi verificado que o Ser Humano interessa-se mais por padrões visuais mais complexos (exemplo: um padrão com riscas, ou figuras) do que um padrão simples (exemplo: padrão liso e homogéneo). Assim, na presença de dois estímulos visuais, um complexo e outro não complexo, um indivíduo dirige o olhar para o estímulo mais complexo, isto é, aquele que tem maior interesse visual. O OP é uma técnica que se baseia nesta resposta comportamental, tendo sido primeiro evidenciada em bebés e crianças pré - verbais. Foi comprovado numa população pediátrica que existe uma tendência em fixar o olhar em superfícies com padrões visíveis em detrimento de superfícies planas e homogéneas(6-8).

O conceito de OP acabou por servir de base para a criação de inúmeras experiências e trabalhos em que se mediram vários parâmetros visuais, desde a AV, primeiro parâmetro onde se aplicou e explorou o conceito de OP (em bebés e crianças pré-verbais), mas também em medições de sensibilidade ao contraste, estereopsia, visão das cores, e na adaptação ao escuro/claridade(9-12).

Os primórdios da técnica de OP são da autoria de Fantz em 1958(6), foi ele que inicialmente chegou às conclusões relativas à preferência dos bebés e crianças pré verbais por padrões mais complexos, na altura, aquilo que agora é designado de OP, Fantz designou de visão padrão. Na sua primeira experiência o procedimento consistia em colocar cada criança numa sala de teste onde era exposta a um par de estímulos durante 20 segundos. De referir que os estímulos usados eram redes quadradas, que consistem em riscas pretas e brancas com uma frequência espacial variável, projetadas num fundo de cor cinzento e uniforme no qual todos estes elementos (fundo e redes quadradas) apresentavam uma luminância média igual. A exposição aos estímulos foi repetida durante 20 segundos com a posição dos estímulos (esquerda-direita) alterada. No decorrer da experiência um operador observa o reflexo corneal dos estímulos nos olhos das crianças e regista o número de vezes que cada criança fixa cada estímulo e também a duração de cada uma destas fixações.

Esta foi a primeira investigação científica em que se aplicou o conceito de OP, ainda que na altura este nome e conceito não estivessem plenamente desenvolvidos. Mas foi a partir deste

trabalho que todas as técnicas de OP foram trabalhadas e desenvolvidas. A conclusão final de Fantz foi simples e clara, ele chegou à conclusão que crianças recém-nascidas com idades entre 1 a 14 semanas, têm uma habilidade inata de perceber formas(6).

Existem inúmeras técnicas de OP que utilizam redes quadradas ou sinusoidais como estímulos, as cartas de Teller são das mais conhecidas e usadas. Teller desenvolveu a técnica de OP com escolha forçada (FPL do inglês *Forced choice Preferential Looking*)(13-15).

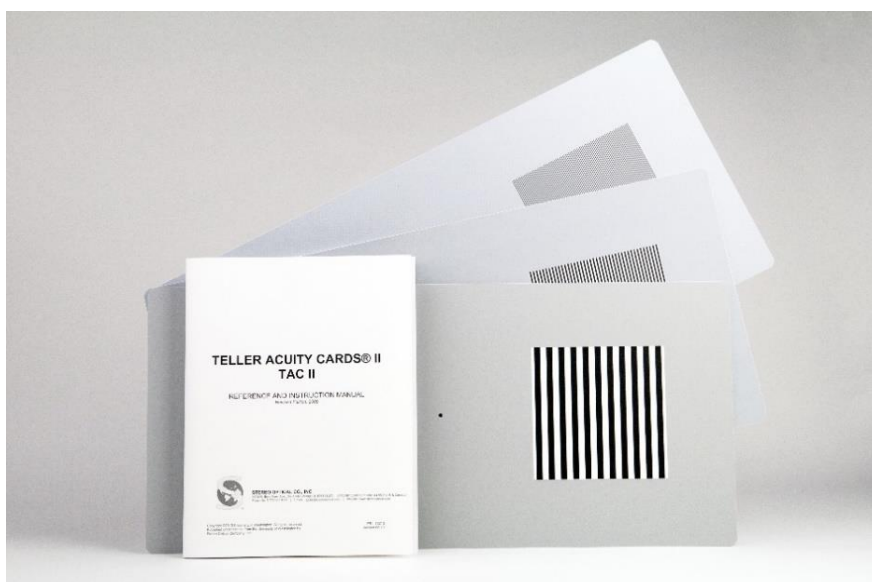


Figura 2.4 - Conjunto de cartas de Teller modernas (Teller Acuity Cards - TAC).

Retirado e adaptado de: (<http://precision-vision.com>)

Nesta técnica a tarefa do operador das cartas difere bastante quando comparada com as técnicas de Fantz. O operador não sabe onde está localizado o estímulo com padrão quando o mostra ao indivíduo em teste. Também o operador em vez de julgar qualquer aspecto em particular do comportamento do indivíduo (como por exemplo o tempo de fixação em cada estímulo), o operador tem sim de avaliar de que lado está o padrão de riscas nas cartas que está a apresentar, baseando-se em todo o tipo de sinais fornecidos pelo indivíduo em teste, começando pelos movimentos oculares, mas também pela primeira direção do olhar quando são apresentados os estímulos, a duração desta fixação, até mesmo através da expressão facial do indivíduo. Cada um destes indivíduos é testado de forma intensiva com vários padrões de riscas, sendo que normalmente quando se trata do uso deste tipo de técnicas com FPL se está a falar em bebés e crianças pré-verbais, neste caso eram indivíduos com idades compreendidas entre um e seis meses de idade. As conclusões retiradas foram, quando os indivíduos em teste não viam os estímulos eles dividiam a sua atenção pelos dois lados de forma igual, normalmente olhavam 50% do tempo para cada um dos lados; por outro lado quando os estímulos eram vistos a percentagem de tempo que estavam a olhar para o estímulo subia consideravelmente, por vezes mesmo até aos 100%. A AV de cada um dos indivíduos foi obtida por uma curva psicométrica que ficava a meio de ambos os patamares(13).

Em outros trabalhos onde é testada a técnica do OP, Held e seus colegas, usaram uma luminância diferente no estímulo de 1.5 cd/m^2 . As suas estimativas de AV estão de acordo com outras estimativas dos autores já referidos em que é usada uma luminância superior(16). Outro exemplo é o trabalho desenvolvido por Salapatek e colegas onde dois operadores verificaram para onde era direcionado o primeiro olhar, a várias distâncias a (30, 60, 90 e a 150 cm (centímetros)) em bebês de 1 a 2 meses de idade. Os estímulos eram redes quadradas num campo homogêneo, com uma luminância espacial média igual entre eles, projetados num campo de 24° a 40° . Neste trabalho de Salapatek e colegas demonstraram que na sua amostra de bebês eles são sensíveis a redes quadradas de 2 cpg (ciclos por grau) e até frequências mais elevadas(17).

Nos métodos de medição da AV através do OP encontraram-se alguns constrangimentos, sendo um deles a duração do teste. Quando Teller e os outros investigadores aplicaram o FPL a crianças, a duração necessária para ter uma estimativa da AV era de 15 a 45 minutos e também eram necessárias várias repetições para reduzir os erros associados a estas medidas. Foi também aferido que neste tipo de técnicas a única forma de obter resultados clinicamente úteis seria com operadores experientes a realizar a avaliação do OP. Na tentativa de criar um tipo de teste de OP em que o operador pudesse fazer um julgamento subjetivo sobre a direção do olhar das crianças, mas ao mesmo tempo conseguisse produzir uma estimativa rápida e precisa da AV das crianças em análise foi criada a técnica ACP (do inglês The Acuity Card Procedure)(15). Teller e seus colaboradores tentaram diminuir o tempo de teste, para tal operaram as seguintes modificações: O operador começou por apresentar à criança a carta que tinha o padrão uniforme e também a carta que tinha a frequência mais baixa (a carta mais visível), assim observou a reação da criança de forma a se familiarizar com a forma como o olhar de cada uma delas se comportou quando estavam na presença ou na ausência de um estímulo. O operador continuou a apresentar esta carta até ter a certeza que compreendia o comportamento da criança. O tempo do teste foi reduzido para cerca de 3 a 5 minutos. Teller desenhou um estudo em que testou a repetibilidade do seu teste, em que após o procedimento ter sido explicado aos indivíduos os testes foram realizados em duas sessões de 45 minutos em dias consecutivos em que a AV das crianças foi estimada até quatro vezes por dia por dois operadores diferentes. Esta técnica de ACP permitiu fazer estimativas rápidas (entre 3.7 minutos até 4.7 minutos) e corretas de AV em crianças normais com idades entre 1 a 6 meses. Entre operadores o teste obteve um coeficiente de correlação de 0.72, e com os mesmos operadores os resultados de AV do primeiro dia e do segundo apresentaram um coeficiente de correlação de 0.66, o que em ambos os casos demonstra uma forte correlação, concluindo que o teste apresentava uma boa repetibilidade(15, 18). Noutro estudo realizado posteriormente Teller testou um paradigma semelhante em crianças com idades um pouco mais avançadas, chegando a testar crianças com um ano de idade, monocularmente, em que os resultados de AV's obtidos acabaram por estar de acordo com o que foi obtido no seu trabalho anterior(19).

Outro trabalho em que foi testada a técnica de OP em ambiente clínico, Chandna, Pearson e Doran realizaram ao longo de um ano inteiro inúmeras medições de AV em crianças usando um método psicofísico em escada modificado(20, 21). Neste trabalho para encontrar a AV dos indivíduos foram usadas cartas de Teller (13-15), um conjunto de dezasseis cartas que possuem uma frequência de 0.32 a 38 ciclos por centímetro. Já a distância do teste foi ajustada conforme a idade da criança e a luminância foi mantida a 1 cd/m². Neste trabalho foram usados dois métodos psicofísicos em escada, *short staircase* (do português teste em escada curto) (2 acertos: sobe AV, 1 errado: desce AV) e *long staircase* (do português teste em escada longo) (4 acertos: sobe AV, 2 errados: desce AV).

No teste de *short staircase*, a frequência das cartas está dividida em passos de oitavas e foi progredindo assim mediante duas respostas corretas do indivíduo em análise, no caso de errar uma, voltou-se meio oitavo atrás e aqui iniciou-se o ciclo para levar a comprovar o limiar de AV. Na primeira apresentação o operador que observava os movimentos dos olhos dos indivíduos não tinha conhecimento sobre qual o lado onde as redes quadradas estavam a ser apresentadas, o operador tinha de julgar para que lado o indivíduo a ser avaliado estaria a olhar, apenas através do comportamento e olhar do mesmo, confirmando apenas depois qual era a carta que ele esteve a olhar, na segunda apresentação o operador já sabia em qual lado estava a carta correta. A amostra deste teste foi constituída por 80 indivíduos com uma visão considerada normal, o teste foi realizado monocularmente, com uma duração média de cerca de 4.5 minutos por cada olho.

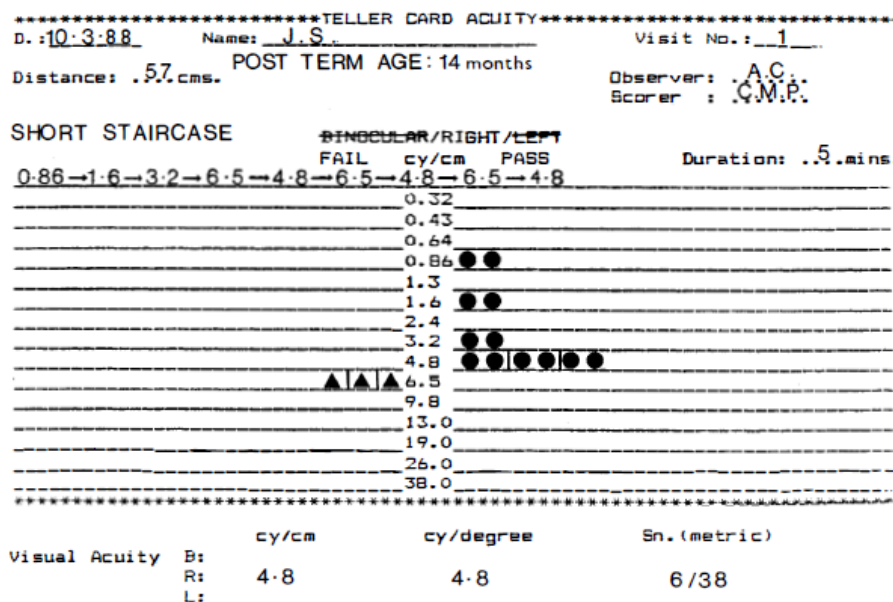


Figura 2.5 - Exemplo da notação de um short staircase.

Retirado e Adaptado de: (Chandna, 1988)

Já no teste de *long staircase*, foram recrutados indivíduos com problemas de saúde ocular ou do qual se suspeitava que pudessem ter algum problema (amostra de 36 indivíduos), também o operador estava sempre camuflado e foram feitas 5 apresentações aos indivíduos, em que com

4 acertos passavam ao nível seguinte, com 2 erradas ou mais resultava num decréscimo de nível. Este teste era realizado monocularmente, com uma duração média de 8.3 minutos para cada olho. No *short staircase* obtiveram uma percentagem de sucesso de 78.5% enquanto no *long staircase* essa percentagem ficou nos 72.1%. O *short staircase* também apresentou uma menor variabilidade dos resultados de AV em relação ao *long staircase*, demonstrando ser mais confiável. Apesar de tudo ambos os testes apresentam valores de AV's que estão em concordância com valores de AV's medidos em outros trabalhos da mesma natureza. Chandna e seus colaboradores também concluíram que a trabalhar com crianças o operador que observa o movimento ocular delas não deve ter conhecimento de qual o lado onde está a carta com o padrão de riscas, pois se o operador tem conhecimento de qual é esse lado o teste pode perder alguma objetividade, pois existe o risco de ser algo tendencioso de alguma forma na análise do olhar das crianças, podendo sobrestimar ou subestimar o real resultado de AV do teste. Este problema é mais comum ainda quando se tratam de investigadores inexperientes no uso das cartas de Teller(21).

Outra questão em relação aos testes de OP, estes testes tiveram quase sempre como população alvo faixas etária extremamente jovens, normalmente recém-nascidos e crianças pré-verbais. Margareth Woodhouse entrou na análise de faixas etárias mais avançadas aquando da sua investigação para a criação das cartas de AV de Cardiff. As cartas de Cardiff são cartas baseadas no princípio do OP, mas têm diferenças notórias quando comparadas com, por exemplo, as cartas de Teller. As cartas Cardiff têm uma direcção vertical, isto é, o estímulo visual vai aparecer ou numa posição mais inferior ou superior das cartas. O estímulo visual das cartas são as figuras de Kay (22).



Figura 2.6 - Cartas com as várias figuras de Kay.

Retirado e Adaptado de: (<http://www.kaypictures.co.uk>)

Para cada linha de AV existem duas cartas, um com o estímulo em cima e outra com o estímulo em baixo, do lado oposto do estímulo vamos ter um fundo cinzento de igual luminância ao cinzento que aparece na parte da carta que contem o estímulo visual.

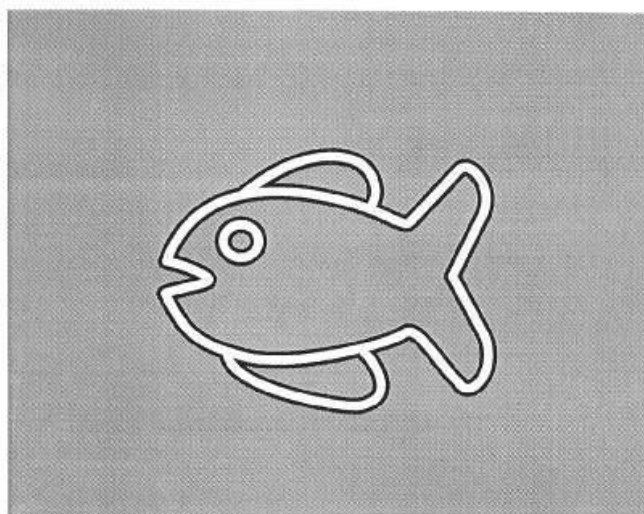


Figura 2.7 - Exemplo de uma das cartas de Cardiff, usando uma das figuras de Kay, desenhada sobre um fundo cinzento.

Retirado e Adaptado de: (Woodhouse et al., 1992)

Woodhouse trabalhou com um grupo de 7 adultos com visão normal, com pelo menos 0,1 logMAR de AV. Foram comparadas as cartas de Cardiff com as cartas de Teller e também com optótipos de Snellen. Durante o teste os indivíduos só tinham de indicar onde está o estímulo, na parte de cima ou na parte de baixo das cartas, no caso das cartas de Cardiff, ou nas cartas de Teller, se está à direita ou à esquerda. Na análise dos resultados desta investigação chegou-se à conclusão que o teste com as cartas de Cardiff produz resultados comparáveis com as cartas Teller e optótipos Snellen. Apesar de existir uma discrepância entre os resultados de AV com as cartas de Teller e as cartas de Cardiff, traduzida numa diferença média entre ambos de - 0.42 logMAR, com os testes de Cardiff a sobrestimarem a AV dos indivíduos testados em relação às cartas de Teller. Apesar disto, esta diferença não foi considerada significativa pelos autores. Consideraram assim que os dados de AV com cartas Cardiff, com uma amostra adulta, são comparáveis àqueles obtidos com cartas de Teller(23).

Woodhouse e seus colegas abordaram de novo a questão de OP em indivíduo de idade adulta. Em 2000 testou 154 adultos com algum tipo de deficiência intelectual. Nesta investigação em 34% dos indivíduos não foi possível determinar a AV usando os métodos convencionais, envolvendo leitura de optótipos, sendo a solução encontrada a aplicação de técnicas de OP. Dentro daqueles 34% em que foram aplicadas técnicas de OP, 31% foi utilizado o teste das cartas de Cardiff e 3% em que foram utilizadas as cartas de Teller e a recolha de AV com estas duas técnicas foi feita com sucesso e com resultados fiáveis(24). Num trabalho mais recente Woodhouse e colegas, em 2007, compararam as cartas de Cardiff, com as cartas de Lea(25). Numa amostra de 72 indivíduos compensados foi-lhes aplicado um teste com as cartas de

Cardiff, mas não foi um teste de OP puro, pois foi pedido aos indivíduos que verbalizassem a sua resposta. Os valores obtidos para os dois métodos foram semelhantes e estavam fortemente correlacionados.

2.3 Detecção Automática do Olhar Preferencial

Em 2011 Sturm e seus colaboradores desenvolveram uma plataforma informática através da qual conseguiam estimar a AV dos seus indivíduos de forma automática, através do uso de um teste de OP. Os estímulos utilizados foram apresentados num monitor CRT de cerca de 53 cm, onde eram apresentadas quatro campos retangulares aos indivíduos, numa rede de 2 por 2, um dos campos apresentava o estímulo, uma rede quadrada de riscas pretas e brancas os restantes três retângulos apresentam um campo de cor cinzenta uniforme (ver figura 2.8). A distância a que os indivíduos estavam do ecrã foi definida como 83 cm. De forma a analisar o padrão de olhar dos indivíduos analisados pelo programa foi analisado aquilo a que Sturm chamou de tempo de fixação relativo (No inglês *relative fixation time* (RFT)).

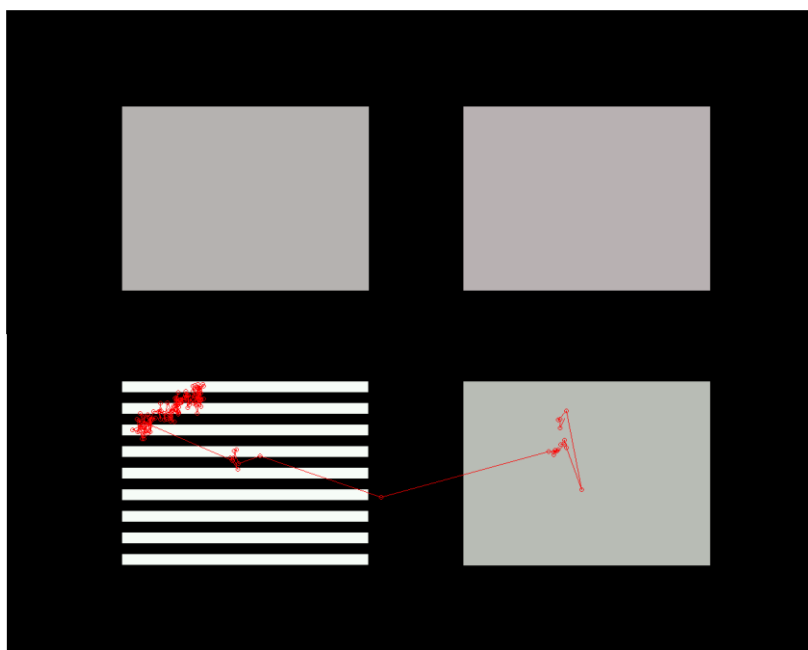


Figura 2.8 - Esquema exemplificativo de como o estímulo era apresentado, por Sturm, aos indivíduos, com três retângulos a apresentar um fundo uniforme cinzento e um deles com o estímulo, rede quadrada preta e branca. Podemos observar também um padrão de RFT de um indivíduo em teste, através dos pontos vermelhos.

Retirado e Adaptado de: (Sturm et al.,2011)

Matematicamente o RFT é o tempo total que um indivíduo passa a olhar para o estímulo a dividir pelo tempo em que este estímulo é apresentado. Por exemplo, um estímulo que é apresentado durante 2.5 segundos, e com um indivíduo em teste que passou 2 segundos a observar a janela que continha este estímulo terá um $RFT = \frac{2}{2,5}$, que dá um RFT de 0.8, em

percentagem, um RFT de 80%. O indivíduo esteve assim 80% do tempo, em que este campo de apresentação foi mostrado, a olhar para o campo onde o estímulo estava localizado.

O RFT médio dos indivíduos quando lhes foi apresentado um estímulo cuja frequência espacial estava abaixo da capacidade de detecção das frequências foi de $72.5\% \pm 9.0\%$ enquanto que quando se falou de frequências que eram mais elevadas que a capacidade de detecção dos indivíduos o RFT ficou fixado em $25.3\% \pm 8.5\%$. Existe uma diferença notória entre o RFT dos indivíduos quando de facto conseguem observar o padrão de riscas e quando este permanece indetetável para eles. Esta investigação de Sturm permite já ter uma base que comprova a eficiência de um teste automatizado que permite realizar esta detecção do padrão de olhar de indivíduo, e através disso retirar o RFT que servirá como base na detecção da AV(12).

2.4 Relação entre Acuidade Visual Medida com Optótipos e Redes Quadradas ou Sinusoidais

Ao falar de AV é importante ter em consideração o optótipo utilizado. A AV medida através de optótipos (exemplo: letras, E's de Snellen, C's de Landolt) e a AV medida usando redes quadradas ou sinusoidais (exemplo: utilizado nas cartas de Teller), correspondem a medições diferentes. No primeiro caso, com optótipos, a AV medida indica a capacidade em discriminar detalhe. Esta é uma medição mais complexa de AV na qual o indivíduo não só tem que detetar a presença de um objeto mas também deve reconhecer os optótipos. No caso das redes quadradas ou sinusoidais, isto vai exigir uma tarefa diferente ao indivíduo em teste, neste caso tem apenas de detetar a existência de um detalhe que difere de um fundo uniforme(26).

Existem estudos que comprovam existir uma diferença significativa entre a AV medida através de redes quadradas e por exemplo os optótipos de Snellen(27, 28). Um dos trabalhos que demonstrou esta diferença foi realizado por Thorn e Schwartz em 1990. Com uma amostra de sete estudantes de optometria com AV corrigidas de 1.0 foram medir a AV desses indivíduos com e sem desfocagem. Para isso usaram redes quadradas projetadas e para comparar foram utilizados dois tipos de letras, umas com *crowding* (Aglomeradas) e outras sem, apresentadas em linhas de oito letras. Numa sala sem iluminação os indivíduos foram colocados a seis metros da tela, monocularmente, e foram utilizadas lentes positivas entre 0 e 12 dioptrias (D) para criar desfocagem. Cada frequência foi apresentada oito vezes. De forma a terem um critério semelhante entre as letras e as redes, as letras eram apresentadas nas suas linhas de oito optótipos iam decrescendo de tamanho, gradualmente, de linha para linha, e o indivíduo ia avançando nestas linhas até 75% ou mais dos optótipos serem falhados. Eram em seguida apresentadas de novo, de forma crescente, até os indivíduos voltaram a acertar em 100% dos optótipos. Já as redes quadradas funcionavam da seguinte forma, como também já foi mencionado, cada frequência era apresentada oito vezes e estas frequências iam aumentando até aos indivíduos errarem pelo menos em metade delas. Quando isto acontecia o processo era

invertido até voltar a atingir uma percentagem de acerto na orientação das redes quadradas de 100%.

Dos resultados obtidos, Schwartz e Thorn concluíram que existe uma grande diferença nos efeitos da desfocagem na AV com os optótipos de Snellen e com as redes quadradas. Já quando se fala de AV com optótipos e redes quadradas mas sem desfocagem, esta diferença é bastante atenuada e os valores de AV de um e do outro aproximaram-se. Segundo os dados obtidos nesta investigação a AV de Snellen é reduzida pela desfocagem quase de uma forma linear, tendo em conta a relação do tamanho das letras e o nível de desfocagem. Já relativamente às redes quadradas, a desfocagem teve um efeito menos degradativo, quando comparado com os optótipos de Snellen. A figura 2.9 apresenta os resultados obtidos por Schwartz e Thorn, onde se pode ver a variação da AV induzida por desfocagem e medida com diferentes estímulos.

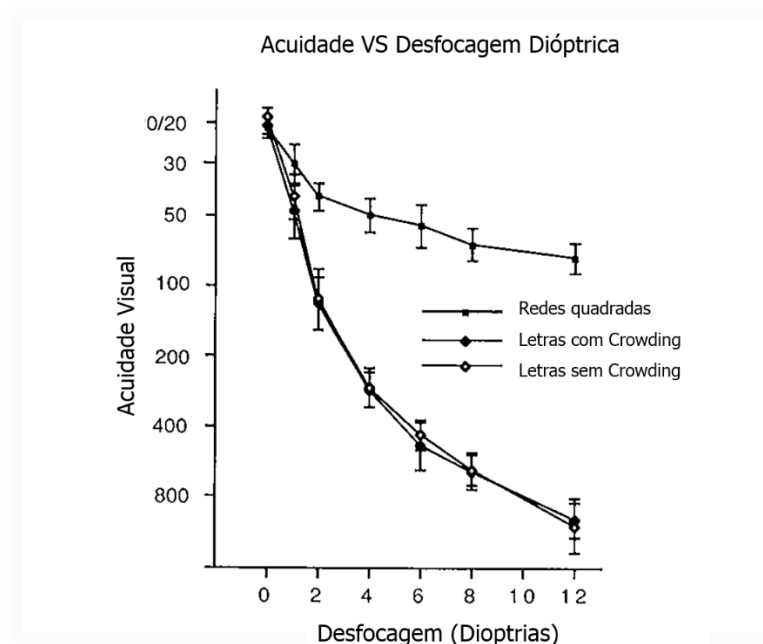


Figura 2.9 - O efeito da desfocagem sobre a AV nos três diferentes métodos avaliados: Optótipos normais (sem *crowding*), optótipos aglomerados (*crowding*) e redes quadradas.

Retirado e Adaptado de: (Thorn & Schwartz, 1990)

A figura 2.10 demonstra a função de transferência de modulação ótica para um olho humano com 3.00D de desfocagem. À medida que é induzida desfocagem é possível observar que o contraste dos estímulos diminui, especialmente nas frequências mais elevadas onde chega a 0. Neste ponto de modelação de valor 0, o valor do contraste da imagem na retina é também de zero, e nestas condições o indivíduo não vê o estímulo. Com optótipos este é o ponto de limiar da AV. A função de transferência de modulação de frequências que estão para lá do primeiro ponto que chega a zero é designada de *Spurious Resolution*. Quando se fala de franjas e o valor da modulação está abaixo de 0, isto provoca a inversão da fase, mas torna-as visíveis.

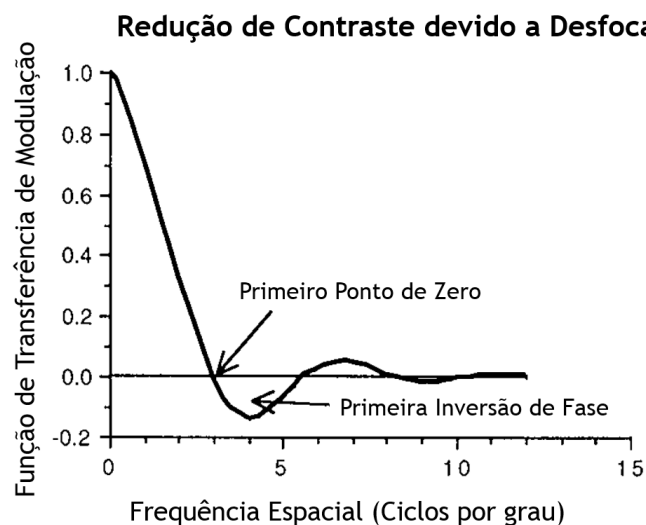


Figura 2.10 - Função de transferência de modulação (FTM) do olho humano com cerca de 3.00 Dioptrias (D) de desfocagem. Podemos ver o primeiro ponto em que chegamos ao zero, e à medida que a frequência espacial vai aumentando o pico das inversões vai diminuindo gradualmente.

Retirado e Adaptado de: (Thorn & Schwartz, 1990)

Quanto aos optótipos de Snellen, também existe o fenômeno de *Spurious Resolution*, mas de forma completamente diferente. Este fenômeno pode permitir que alguns detalhes dos optótipos se mantenham visíveis para os indivíduos, mas a relação entre as várias linhas e detalhes dos optótipos pode ser deturpada, isto pode ser o suficiente para que um optótipo que esteja apenas ligeiramente desfocado seja impossível de ser reconhecido. A *Spurious Resolution* explica esta diferença entre a AV medida por redes quadradas, sai inflacionada, e a AV medida por optótipos(27)

A técnica de OP é um conceito estabelecido na determinação da AV em indivíduos nos quais os métodos tradicionais de medição da AV não funcionam. No entanto, é uma técnica com limitações relacionadas com a complexidade da avaliação do olhar tornando o teste dependente do desempenho e experiência do avaliador/operador. Propõe-se assim desenvolver bases para a criação de um teste de OP objetivo (baseado numa plataforma informática) que permita eliminar alguns dos constrangimentos do teste tradicional. Para tal será objetivo deste trabalho desenvolver e criar uma plataforma de apresentação de estímulos, captura e análise do movimento ocular. Nos capítulos experimentais deste trabalho irão ser abordadas as características do OP e a sua utilidade na determinação da AV.

3. Métodos

3.1 Introdução

O trabalho desenvolvido nesta dissertação envolveu a realização de três experiências distintas, mais à frente designadas por experiência 1, experiência 2 e experiência 3, que envolvem o registo e medição dos movimentos oculares para determinar a posição do OP com o objetivo de quantificar a AV de um conjunto de indivíduos quando estes simplesmente observam uma sequência de estímulos visuais. Os estímulos visuais são constituídos na sua essência por um padrão com uma rede sinusoidal de frequência espacial fixa e com contrastes variáveis na experiência 1, enquanto que na experiência 2 e 3, o padrão apresenta uma rede quadrada de frequências espaciais variáveis e com um contraste de 100% fixo. A descrição detalhada das experiências é feita nas secções 4.2, 5.2 e 6.3 respetivamente dos capítulos 4, 5 e 6 desta dissertação.

Neste capítulo será efetuada a descrição detalhada da montagem experimental implementada, que serviu de base às três experiências, e da plataforma informática desenvolvida para controlar os processos de apresentação dos estímulos visuais e da aquisição, registo e processamento dos dados associados às imagens recolhidas para determinação da posição do OP dos indivíduos e respetiva AV. A montagem experimental está dividida em dois módulos distintos, mas interligados e sincronizados, o módulo de apresentação e controlo dos estímulos visuais e o módulo de aquisição, controlo, registo e processamento de imagens.

Na figura 3.1 está esquematicamente representada a montagem experimental que foi desenvolvida e implementada no CO da UBI. Os indivíduos participantes nas experiências são posicionados a uma distância (d) de 4 metros de um monitor (M) onde são apresentados os estímulos a visualizar. O ambiente possui uma iluminação artificial com luminárias de teto fluorescentes sendo asseguradas as condições de visão fotópica. A cabeça dos indivíduos é apoiada numa mentoneira (m) que garante o alinhamento do seu olhar com o monitor e, simultaneamente, reduz os movimentos involuntários da cabeça.

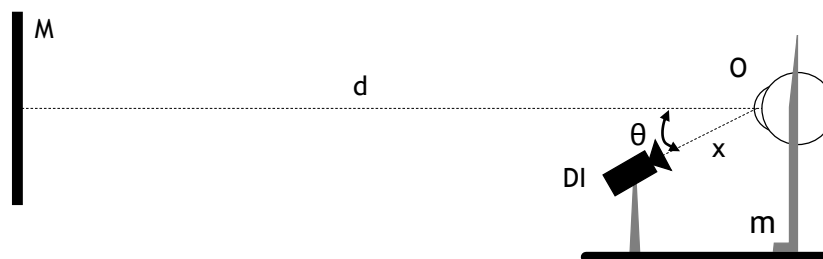


Figura 3.1 - Representação esquemática da montagem experimental implementada.

A aquisição e o registo das imagens das regiões oculares e perioculares dos indivíduos é efetuada por um detetor de imagem (DI), com uma macro objetiva zoom, colocado a uma distância (x) de cerca de 0.40 m do centro dos olhos (O) e fazendo um ângulo (θ) de 30° abaixo da linha de visão sem obstrução do campo de visão sobre a tela do monitor, conforme representado na figura 3.1.

A distância de 4 metros foi escolhida tendo em consideração a necessidade de garantir um relaxamento da acomodação dos indivíduos de forma a não constituir um facto de influência sobre a AV que se pretende medir e, por outro lado, por ser a distância recomendada para a utilização de cartas ETDRS na avaliação da AV efetuada, permitindo assim fazer-se uma comparação direta entre as medidas de AV's realizadas.

A figura 3.2 mostra duas fotografias da montagem experimental onde podem ser identificados todos os componentes envolvidos.



Figura 3.2 - Fotografias da montagem experimental implementada.

Nas secções seguintes será efetuada uma descrição detalhada de cada um dos dois módulos constituintes da montagem experimental e de todo o procedimento de calibração do sistema.

3.2 Apresentação e Controlo dos Estímulos Visuais

O módulo de apresentação e controlo dos estímulos visuais é responsável pela representação de um conjunto de sequências de estímulos visuais que é efetuada na tela de um monitor LED (do inglês Light Emitting Diode) de 21" da LG, modelo 23MP65HQ, com uma resolução de 1920 x 1080 pixéis. Os pixéis são quadrados com um tamanho (*dot pitch*) de 0.265 mm (milímetros) o que corresponde a uma área útil de representação de 508.8 x 286.2 mm². A luz emitida por

cada pixel pode ser ajustada com 256 níveis de intensidade (8 bits) desde o preto até ao branco. O monitor é controlado através de uma carta gráfica NVIDIA GeForce, modelo GTX, que se encontra instalada num computador ASUS com processador Intel® Core™ i7. A aplicação de *software* desenvolvida para a geração e representação dos estímulos visuais encontra-se escrita em MATLAB® R2015a (versão 8.5.0.197613) com o auxílio de ferramentas de Psicofísica (Psychophysics Toolbox 3.0.12) e de Processamento de Imagem (Image Processing Toolbox™ 9.2). Esta aplicação está embebida nos aplicativos globais desenvolvidos (plataformas informáticas) para cada uma das experiências 1, 2 e 3.

A geração de cada estímulo visual (estímulo visual global) está baseada na criação de um campo bipartido que é composto por dois quadrados de $140 \times 140 \text{ mm}^2$ que estão separados horizontalmente por uma distância de 140 mm e que são colocados simetricamente sobre a área útil de representação com fundo preto. A luminância média de cada estímulo visual global é de 85 cd/m^2 . Em cada estímulo visual global gerado um dos quadrados apresenta sempre uma distribuição uniforme de luz enquanto que o outro apresenta o estímulo propriamente dito, e que pode ou não ser visto por um determinado indivíduo, como mostra a figura 3.3 a) e b). O quadrado que terá a distribuição uniforme de luz é selecionado aleatoriamente à direita ou à esquerda, e a luminância média do estímulo visual global é sempre mantida.

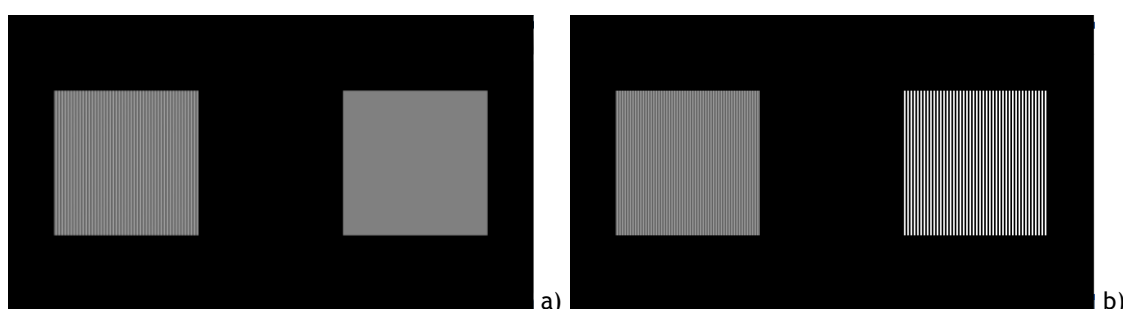


Figura 3.3 - Representação típica dos estímulos visuais globais para as experiências 1, 2 e 3. Na figura a) os estímulos visuais para a experiência 1. Na figura b) os estímulos visuais para as experiências 2 e 3.

Como referido anteriormente, o estímulo propriamente dito para a experiência 1, e que é apresentado apenas num dos quadrados, é composto por um padrão com uma rede sinusoidal com orientação vertical com uma frequência espacial fixa de 24 cpg. O contraste desse estímulo é selecionado de um conjunto de 5 contrastes distintos que são gerados com diferenças de contraste de 5 dB e estão centrados no limiar de contraste de cada indivíduo em particular e que tem de ser previamente medido. Para a experiência 2, o estímulo propriamente dito, e que também é apresentado apenas num dos quadrados, é composto por um padrão com uma rede quadrada de orientação vertical com uma frequência espacial selecionada do conjunto {131.7, 65.9, 43.9, 32.9, 26.3, 21.9, 18.8, 16.5, 14.6, 13.2} cpg e com contraste fixo de 0 dB.

Para além dos dois estímulos visuais globais atrás descritos, existe ainda mais um estímulo visual global que é imprescindível para os processos de calibração e de alinhamento do olhar

dos indivíduos. Este estímulo, aqui designado de calibração/alinhamento, consiste num ponto de fixação “*smile*” com cerca de 17-20 mm de diâmetro e de cor cinza que pode ser colocado em qualquer posição da área útil de representação, em geral no centro para o processo de alinhamento, sobre um fundo preto, como mostra a figura 3.4. O tamanho desta fixação é suficiente para poder ser observado por qualquer indivíduo à distância de trabalho considerada.

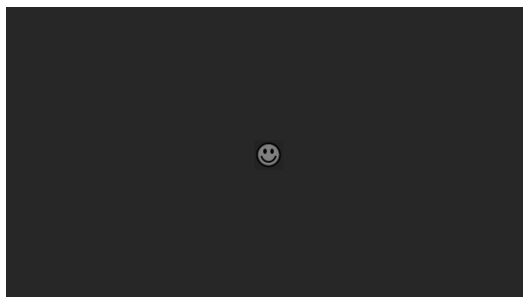


Figura 3.4 - Representação típica do estímulo visual global de calibração/alinhamento do olhar do indivíduo.

Podem sempre ser gerados outros e novos tipos de estímulo visuais globais que satisfaçam o desenho de experiências psicofísicas específicas e que tenham como base o registo e medição dos movimentos oculares para determinar a posição do OP com base na metodologia de campo bipartido aqui descrita. Assim, podem ser gerados novos estímulos que contenham por exemplo, a letra E de Snellen em diferentes orientações, ou os símbolos das cartas Lea, ou até símbolos desvanecidos (*vanishing optotypes*) como os das cartas Cardiff. A escala de trabalho usa o MAR que à distância de trabalho considerada permite definir uma determinada linha ou nível de AV.

No entanto, deve ser enfatizado que, a construção e o encadeamento de uma sequência de estímulos visuais a utilizar em testes psicofísicos deste tipo deve iniciar-se com a apresentação de um estímulo de alinhamento e intercalar outros ao longo do processo de visualização de forma a garantir a precisão das medições dos movimentos oculares realizados. Por outro lado é de extrema importância a utilização de sinais sonoros de alerta sempre que um novo estímulo é apresentado de forma a captar toda a atenção do indivíduo para o teste que está a realizar.

3.3 Aquisição, Controlo, Registo e Processamento de Imagens

O módulo de aquisição, controlo, registo e processamento de imagens para extração e quantificação dos movimentos oculares dos indivíduos, enquanto visualizam os estímulos gerados, é efetuada através de um detetor de imagem da Allied Vision Technology (AVT), modelo Guppy PRO F-503C, com uma resolução de 2592 x 1944 pixéis e com interface IEEE 1394b. Os pixéis são quadrados com uma dimensão de 2.2 μm e a intensidade de cada pixel é representada por 12 bits o que corresponde a 4096 níveis de cinzento. A taxa de aquisição de imagens (*frame rate*) em máxima resolução é de 13 fps (*frames* por segundo), aumentado com a redução de resolução (tamanho da imagem). Este detetor de imagem está equipado com uma macro objetiva *zoom* da Schneider, modelo 15355, e é controlado através de uma carta IEEE 1394b

instalada no mesmo computador ASUS com processador Intel® Core™ i7. A aplicação de software desenvolvida para efetuar a aquisição, registo e processamento de imagens também se encontra escrita MATLAB® R2015a (versão 8.5.0.197613) com o auxílio de ferramentas de Aquisição de Imagem (Image Acquisition Toolbox™ 4.9) e de Processamento de Imagem (Image Processing Toolbox™ 9.2). Esta aplicação está embebida nos aplicativos globais desenvolvidos (plataformas informáticas) para cada uma das experiências 1, 2 e 3.

A figura 3.5 mostra a imagem completa (máxima resolução) e que é vista pelo detetor de imagem na montagem. A aplicação de *software* define inicialmente uma região de interesse (ROI - *Region Of Interest*) fixa que corresponde à área da imagem onde se encontram os dois olhos do indivíduo e respetivas regiões perioculares. Assim, a dimensão da imagem desta ROI é de 1628 x 356 pixéis o que permite para além da obtenção de taxas de aquisição mais elevadas reduzir significativamente os tempos de processamento das ROI's. O período de amostragem foi fixado em 62.5 ms (milissegundos) o que corresponde a uma taxa de aquisição de 16 fps. A imagem associada à ROI definida também está representada na figura 3.5.

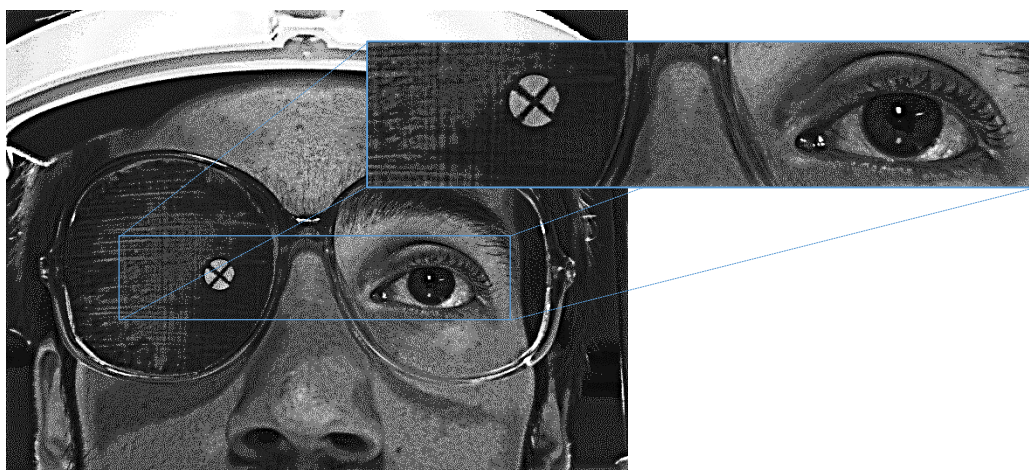


Figura 3.5 - Imagens completa e da ROI de um determinado indivíduo.

No caso que aqui é exemplificado a imagem da ROI contempla apenas o olho esquerdo (OS - *Oculus Sinister*) do indivíduo uma vez que o olho direito (OD - *Oculus Dexter*) não é visível devido ao oclisor amovível que foi colocado na armação. Desta forma, o aplicativo de *software* irá detetar automaticamente qual dos olhos OD ou OS (modo monocular - modo de funcionamento por defeito), ou na ausência da armação ambos os olhos (modo binocular), sobre o qual se irá efetuar o registo e medição do movimento ocular durante um determinado intervalo de tempo.

No funcionamento em modo monocular é identificável no oclisor um símbolo “X” de referência que irá possibilitar o alinhamento automático de uma sequência de imagens da ROI registadas num determinado intervalo de tempo de forma a compensar eventuais e involuntários movimentos da cabeça do indivíduo. Quando é necessário utilizar um modo de funcionamento

binocular a armação é retirada e o símbolo “X” de referência é colocado na zona nasal central entre os dois olhos usando um pequeno círculo autocolante.

Após a aquisição e registo de uma sequência de imagens relativas a um processo experimental e tendo como base de processamento as imagens da ROI em primeiro lugar é selecionada como ROI de referência a 1ª dessas imagens, uma vez que o indivíduo nesses instantes estava a visualizar o estímulo de alinhamento. Em segundo lugar são identificadas na imagem dessa ROI de referência as coordenadas (x, y) , associadas ao detetor de imagem, da posição do centro pupilar e é extraída uma pequena área da imagem com cerca de 150×150 pixéis que contém o “X” de referência. Seguidamente são aplicadas translações horizontais (em x) e verticais (em y) de compensação às imagens seguintes da ROI com a amplitude necessária para manter a imagem do “X” de referência na mesma posição em que está na ROI de referência. A amplitude destas translações é determinada fazendo-se a correlação bidimensional normalizada da imagem do “X” de referência com cada uma das imagens da ROI. Desta forma é possível conhecer a posição do “X” de referência que melhor se ajusta determinando a localização do pico da função de correlação resultante e calculando os valores do desvio horizontal e vertical em termos de coordenadas do detetor. O passo seguinte consiste em efetuar um corte às imagens da ROI para extrair sub-ROI's de 300×300 pixéis centradas nas coordenadas (x, y) do centro pupilar identificado na ROI de referência, como mostra a figura 3.6 a) onde as imagens do lado esquerdo correspondem ao instante de tempo $t_1=0$ seg. do processo de registo (sub-ROI de referência) e as do lado direito ao instante de tempo $t_k=3.44$ seg. (sub-ROI instantânea). Estas sub-ROI's contêm apenas a imagem útil do olho detetado (OD ou OS). As imagens dessas sub-ROI's são então convertidas para binário (imagem preto-branco), tendo como limiar (*threshold*) o seu valor médio, ver figura 3.6 b). Estas imagens mostram essencialmente uma área branca que corresponde à zona ocupada pela pupila. As imagens finais de interesse associadas às sub-ROI's são obtidas aplicando sucessivamente uma série de filtros que preenchem buracos e de reconstrução com filtros medianos para suavização. Nesta figura exemplifica-se a sequência de transformações e de processamento efetuados às imagens finais das sub-ROI's relativas ao olho OD de uma hipotética aquisição para a obtenção das imagens de interesse.

A posição do olhar do indivíduo pode ser determinada para cada instante de tempo em que foi adquirida uma imagem da ROI ao longo de um determinado intervalo de tempo efetuando uma correlação bidimensional normalizada entre a imagem final da sub-ROI de referência e as imagens finais das sub-ROI's de interesse. Desta forma é possível reconstruir o movimento ocular e determinar a posição do olhar, expresso em termos das coordenadas (x, y) do detetor de imagem, tendo como base a localização do pico da função de correlação resultante e que permite calcular os desvios oculares nas direções horizontal e vertical, conforme se pode observar nas distribuições da função de correlação representadas na figura 3.6 f).

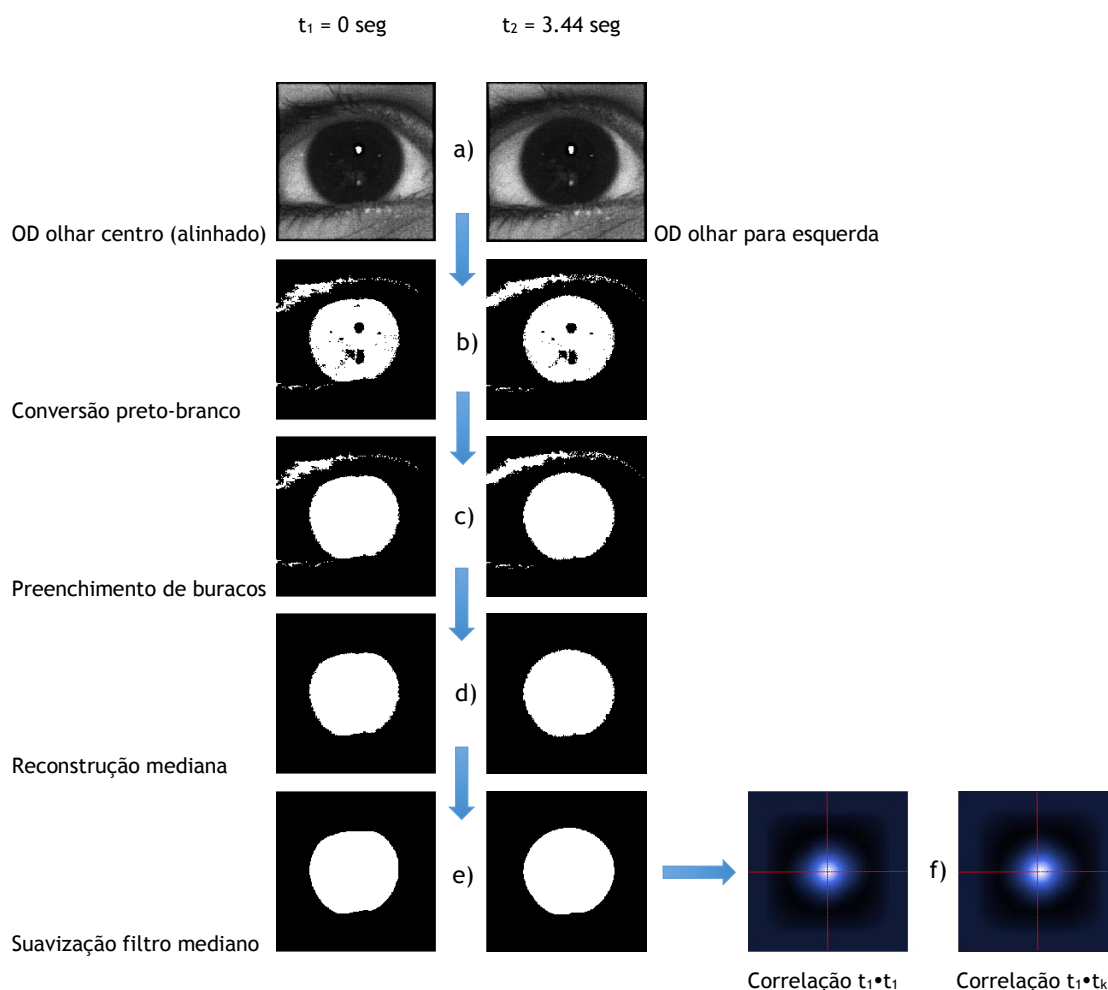


Figura 3.6 - Sequência de transformações e de processamento às imagens das sub-ROI's relativas ao olho OD de uma hipotética aquisição.

Estas coordenadas da posição ocular são posteriormente transformadas e convertidas nas coordenadas reais (x_r , y_r) do monitor onde são apresentados os estímulos aplicando os respectivos factores de ampliação determinados durante o processo de calibração do sistema que está descrito na secção 3.4. Estas novas coordenadas são expressas em mm e correspondem à posição do olhar sobre a área útil de representação do estímulo ($508.8 \times 286.2 \text{ mm}^2$). Ao centro desta área retangular é atribuída a coordenada (0, 0) mm. Desta forma valores negativos na coordenada horizontal (x_r) significam deslocamentos do olhar para a esquerda e valores positivos significam deslocamentos para a direita, enquanto que valores negativos na coordenada vertical (y_r) significam deslocamentos do olhar para baixo e valores positivos significam deslocamentos para cima.

Dada a natureza das experiências 1, 2 e 3 em apreço, como o mais importante é determinar se o indivíduo ao observar um dado estímulo visual desviou o seu olhar para o quadrado da esquerda ou para o da direita, ou até se manteve a posição do seu olhar no centro do estímulo, apenas está a ser contabilizada nos aplicativos de *software* desenvolvidos a coordenada horizontal para a determinação da posição do OP durante a observação de um estímulo visual. Assim, para cada indivíduo são constituídas 3 zonas de interesse sobre a área útil de

representação. A primeira zona é uma zona central retangular com uma largura igual ao valor do desvio padrão obtido durante o processo de calibração. Este desvio padrão reflete as oscilações oculares particulares desse indivíduo durante a fixação do estímulo de calibração, pelo que sempre que o olhar se posiciona dentro desta zona pode afirmar-se que o indivíduo está alinhado e a olhar para o centro do estímulo. As duas zonas restantes, a que está à esquerda e a que está direita da zona central, determinam se o indivíduo está a olhar para o quadrado esquerdo ou para o quadrado direito do estímulo visual global, respetivamente. Com esta informação é então possível monitorizar e calcular os RFT's do olhar do indivíduo em cada uma destas zonas na área útil de representação dos estímulos. Pode no entanto acontecer que durante a observação de um estímulo o indivíduo dirija o seu olhar para fora da área útil de representação, e as coordenadas da posição ocular serão ignoradas, ou que efetue algum pestanejo que impossibilita a realização dos cálculos associados ao processamento dessas sub-ROI's.

3.4 Procedimento de Calibração

Para se efetuar o registo e a medição dos movimentos ocular primeiramente é necessário calibrar o sistema e alinhar o olhar de um determinado indivíduo com a tela do monitor de apresentação dos estímulos visuais, só depois se poderá efetuar o registo e a medição dos seus movimentos oculares.

No processo de calibração e de alinhamento o indivíduo após ser posicionado confortavelmente no sistema irá observar um estímulo de calibração com o “*smile*” de fixação no centro da tela do monitor (alinhamento) durante 2 segundos, depois durante mais 2 segundos com a fixação deslocada horizontalmente para o lado esquerdo (calibração) a uma distância de -237.4 mm do centro, e finalmente durante mais 2 segundos com fixação deslocada horizontalmente para o lado direito (calibração) a uma distância de +237.4 mm do centro. É gerado um sinal sonoro de alerta sempre que um novo estímulo é apresentado, por forma a captar a atenção dos indivíduos. Durante estes 6 segundos são adquiridas e registadas uma sequência de imagens da ROI que irão permitir o cálculo dos factores de ampliação para a transformação das coordenadas (x, y) do detetor de imagem em coordenadas reais (x_r, y_r) do monitor.

Processando esta sequência de imagens de acordo com o descrito na secção 3.3 é possível obter no final uma correspondência direta entre as 3 posições do olhar medidas e expressas em termos das coordenadas (x,y) do detetor de imagem com as 3 posições do estímulo de fixação consideradas no monitor. Conhecendo a distância de trabalho, o tamanho dos píxeis do detetor de imagem, e a sua resolução espacial e posição angular podem associar-se os deslocamentos do olhar registados sobre a superfície do detetor de imagem com os deslocamentos do olhar reais sobre a tela do monitor através de relações matemáticas simples. Estas relações permitem calcular os factores de ampliação para a conversão destes deslocamentos em relação à superfície a tela do monitor e expressá-los em termos de coordenadas reais (x_r, y_r) do monitor.

São sempre calculados dois factores de ampliação, um factor de ampliação horizontal e outro factor de ampliação vertical, pelo facto de o detetor de imagem estar angularmente deslocado ao longo da direção vertical em relação à linha de vista do indivíduo. Desta forma as ampliações são necessariamente diferentes e os aplicativos de *software* desenvolvidos entram em conta com estes factores diferenciados.

4. Experiência 1

4.1 Introdução

O conceito de OP implica que o indivíduo que observa tenha mais interesse por um estímulo com um padrão visual mais complexo do que por um não tão complexo. Assim Sturm(12) verificou que o RFT é uma métrica que indica se o indivíduo vê ou não o estímulo. Outro factor a ser analisado foi o número de fixações durante o teste do OP.

A experiência 1 tem como objetivo avaliar as características do OP tendo em conta o RFT e o padrão de fixação. Para isso foi utilizada uma estratégia de escolha forçada espacial, implementada através de um campo bipartido, no qual existe um campo com estímulo (campo estímulo) e um campo sem estímulo (campo nulo). As características do OP foram avaliadas para um estímulo supra-limiar (visível) e infra-limiar (não visível).

Foram então formuladas e testadas as seguintes hipóteses:

H0: O RFT de um indivíduo difere quando é apresentado um estímulo supra- ou infra-limiar.

H0: O padrão de fixação difere entre um estímulo supra e infra-limiar.

Esta secção tem ainda como objetivo determinar as características do RFT que permitem a distinção entre um estímulo visível e outro não visível.

4.2 Métodos

O esquema experimental geral usado para a experiência 1 foi descrito no capítulo 3, existindo algumas variações que são apresentadas nas seguintes secções.

4.2.1 Participantes

Participaram neste estudo 29 pessoas com idades entre os 18 e os 54 e uma mediana de 23 anos. Os critérios de inclusão foram: ausência de patologia ocular, AV de longe melhor que 0.1 logMAR, e interesse em participar no estudo.

Durante a realização da experiência os participantes usaram sempre a sua compensação habitual. Os testes foram feitos numa sala com uma iluminação normal. Os testes foram realizados monocularmente e a escolha do olho testado foi aleatória.

A todos os participantes foi apresentado um consentimento informado, onde foram informados de forma breve e concisa sobre a natureza da experiência, o consentimento informado foi assinado por todos os participantes.

4.2.2 Determinação do Limiar ao Contraste de um Estímulo Sinusoidal

Usou-se um estímulo com uma rede sinusoidal vertical com uma frequência espacial de 24 cpq ao longo da experiência 1. O estímulo estava posicionado no centro do monitor num campo de apresentação (dimensões: a $0,035^\circ$ na vertical e a $0,035^\circ$ na horizontal). A luminância média do estímulo era de 85 cd/m^2 . O fundo em redor do campo de apresentação do estímulo era preto com uma luminância inferior a 4 cd/m^2 .

A estimativa do limiar foi feita através de um método psicofísico em escada como descrito. O contraste definido para início do teste foi de 26 dB. O indivíduo usou o teclado para responder se via o estímulo ou não. O tempo de apresentação de cada estímulo foi de 1500 ms. O procedimento em escada variava o contraste da seguinte forma: sempre que o indivíduo indicava que o estímulo era visto incrementava a sensibilidade em 8 dB (diminuíam o contraste do estímulo). Este incremento prolongava-se até o indivíduo indicar que não via, nesse caso o valor do contraste atual era repetido. Se o indivíduo logo de seguida voltasse a indicar que via o estímulo a progressão do contraste passava a ser feita em passos de 4 dB. Sempre que existia uma inversão como a anterior, o passo de progressão era cortado para metade (2 dB, 1dB, 0.5 dB, 0.25 dB) até ser atingido o valor de 0.25 dB, este foi definido como o ponto de paragem do procedimento.

4.2.3 Caracterização do Olhar Preferencial

Este limiar serviu de base para o teste seguinte, cujo objetivo foi o de determinar as características do OP. Foram criados no monitor de apresentação dois campos (dimensões: a $0,035^\circ$ na vertical e a $0,035^\circ$ na horizontal), espacialmente separados em 140 mm ($\sim 2,0^\circ$).

Num dos campos foi apresentado um padrão homogéneo cinzento (campo nulo) no outro era apresentado o estímulo (campo estímulo), redes sinusoidais como as utilizadas no teste em escada. A luminância média dos campos era de 85 cd/m^2 .

Para testar as características do OP nas duas condições, estímulo não visível e estímulo visível, o valor do limiar de sensibilidade ao contraste obtido no teste em escada foi reduzido em 10 dB (estímulo visível, supra-limiar) e incrementado em 10 dB (estímulo não visível, infra-limiar). Cada nível de contraste foi repetido 10 vezes, em que cada apresentação de estímulo tinha uma duração de 2500 ms. O sistema de captura do olhar registava a direção do olhar durante a apresentação. Entre cada apresentação era demonstrado na tela do monitor um ponto de fixação central como estímulo para prender a fixação dos indivíduos, enquanto se dava a transição para uma nova apresentação, sendo que estas transições foram sempre acompanhadas por um aviso sonoro. A média do tempo total de teste foi de aproximadamente 2 minutos. As respostas dos indivíduos a cada apresentação foram também registadas em teclado (na forma visto e não visto), por forma a confirmar se o estímulo era ou não visto.

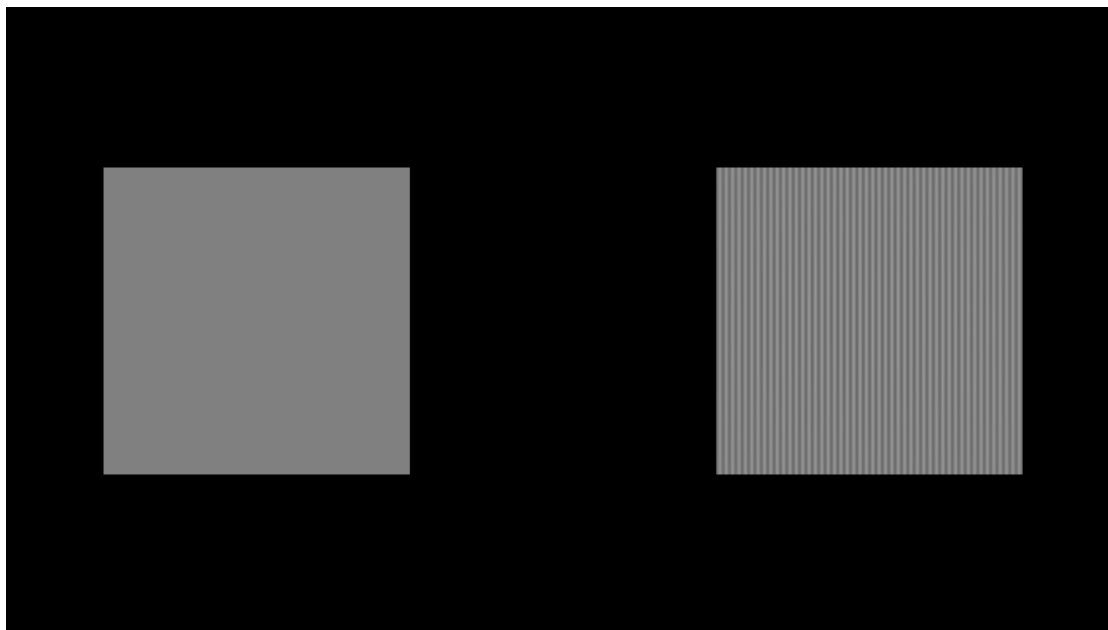


Figura 4.1 - Janela tipo da apresentação para determinação do OP. Estímulo à direita e campo nulo à esquerda.

4.2.3.1 Métricas Características do Olhar Preferencial

As duas métricas analisadas para caracterização do OP, foram o RFT e o padrão de fixação dos indivíduos.

O RFT é uma métrica que usa o tempo que um indivíduo olha para o estímulo dividido pelo tempo total que o estímulo é apresentado. Neste caso, no campo bipartido representado, um estímulo é apresentado num dos lados do monitor durante 2500 ms, se o participante passar 2000 ms do tempo total de apresentação a olhar para o lado do monitor onde ele está o RFT deste indivíduo será $RFT = 2000/2500$, que por sua vez, $RFT = 0.8$. Isto é, o indivíduo passou 80% do tempo a olhar para o lado do monitor onde foi mostrado o estímulo.

O padrão de fixação é uma métrica que envolve as mudanças de fixação do olhar dos indivíduos em teste. Durante cada apresentação de estímulos de 2500 ms, por cada vez que o participante olhava para uma das duas zonas da apresentação era contada uma fixação. Este processo pode ser exemplificado da seguinte forma, durante os 2500 ms o olhar do indivíduo é identificado cerca de 40 vezes (número de capturas de imagem que o detetor de imagem realiza no intervalo de tempo do teste) como estando no campo do estímulo ou no campo nulo. Isto permitia obter uma sequência de fixações, que poderia ser por exemplo EEEEEEEENNNNNNNNNNNNEEEEEEEEEEEEEEE, onde E corresponde a fixações no campo do estímulo e N corresponde a fixações no campo nulo. O número de fixações foi dado pelo número de vezes que o indivíduo mudava a sua fixação de campo, neste caso o número de fixações foi 3.

4.2.4 Estatística

A normalidade dos dados de RFT e das fixações foi avaliada através de testes de análise estatística Shapiro-Wilk. Foi utilizada estatística não paramétrica (Mann-Whitney) para comparação das distribuições do RFT e do padrão de fixações.

A especificidade e a sensibilidade da métrica de RFT foi analisada através das curvas ROC (do inglês *Receiver Operating Characteristic*)

Estes testes foram aplicados com auxílio do *software* de análise estatística *IBM SPSS Statistics* (versão 22.0.0.0).

4.3 Resultados e Discussão

O valor médio de limiar ao contraste medido para os 29 indivíduos no teste em escada com as riscas sinusoidais com 24 cpg foi de 31.7 ± 10.6 dB.

4.3.1 Tempo de Fixação Relativo

A média dos tempos de fixação relativos, de todos os indivíduos, para os estímulos supra-limiar (visível) e infra-limiar (não visível) foram respetivamente, $RFT_{\text{Supra-limiar}} = 0.68 \pm 0.09$ (68%±9%) e $RFT_{\text{infra-limiar}} = 0.50 \pm 0.08$ (50% ± 8%), estes valores estão representados na figura 4.2.

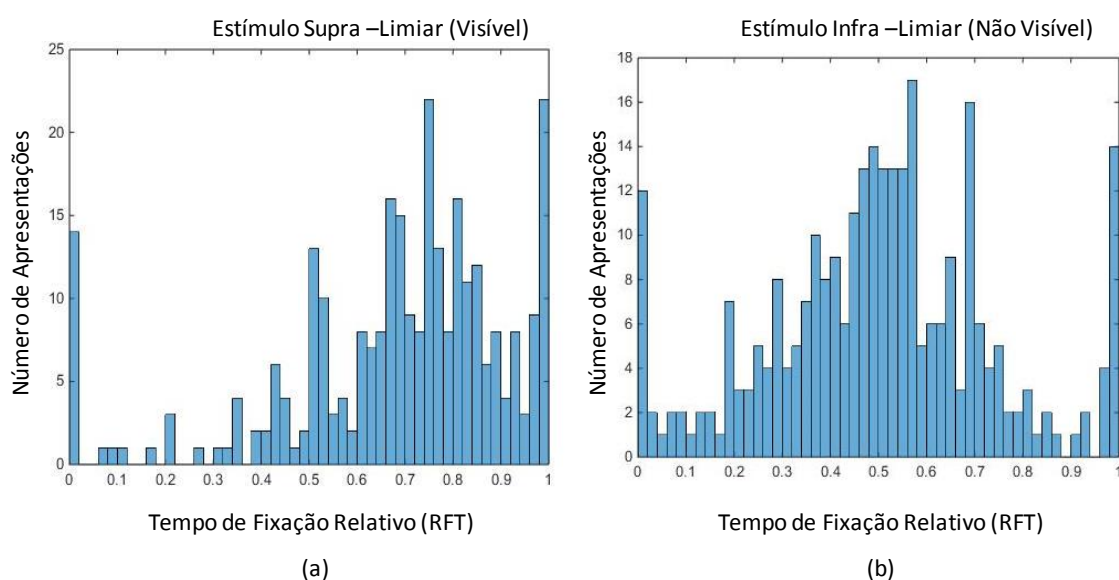


Figura 4.2 - Histogramas dos RFT's para um estímulo supra limiar, gráfico a) e infra limiar, gráfico b). O Cada histograma inclui 290 apresentações (29 indivíduos x 10 observações cada).

Ao observar ambos os gráficos é possível notar que quando o estímulo é visto pelos indivíduos, (supra-limiar) os valores de RFT dos mesmos são superiores, isto é, o indivíduo que observa tem tendência fixar a o estímulo durante mais tempo. Quando o estímulo não é visto (infra-limiar),

os valores de RFT são menores. As duas amostras são estatisticamente diferentes ($U=42$, $p<0,001$)

4.3.2 Padrão de Fixações

O padrão de fixação para os estímulos supra- e infra-limiar é apresentado na figura 4.3. Os observadores mostraram uma tendência para ter um menor número de fixações quando o estímulo era supra-limiar, com uma média de $\text{Fixações}_{\text{supra-limiar}} = 3,23 \pm 0,60$ fixações. Quando este era infra-limiar, a média é $\text{Fixações}_{\text{infra-limiar}} = 3,74 \pm 0,65$ fixações.

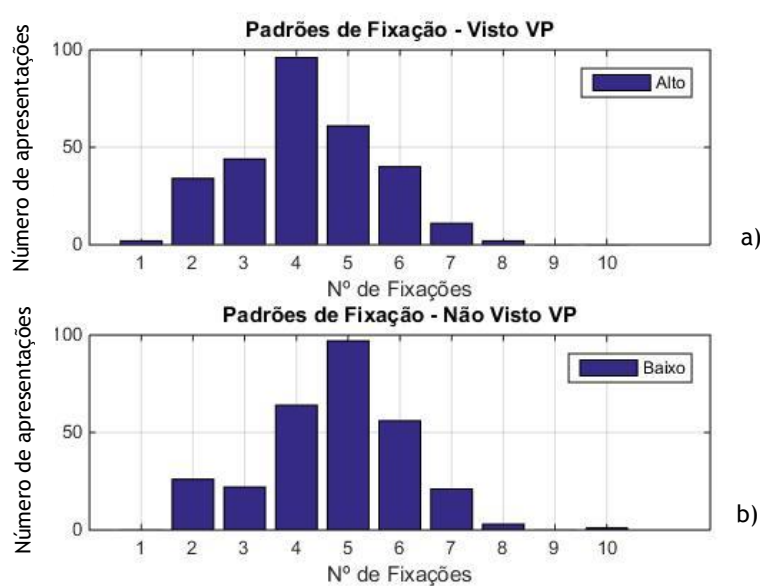


Figura 4.3 - Histograma do número de fixações dos 29 examinandos para um estímulo supra-limiar, gráfico a) e infra-limiar, gráfico b). Cada gráfico inclui 290 apresentações.

A figura 4.3 demonstra que o número de fixações quando o estímulo é visto é inferior àquele quando o estímulo não é detetado ($U=223,5$, $p=0,002$).

4.3.3 Cálculo da Sensibilidade e Especificidade da Métrica RFT

A análise do desempenho do teste de olhar preferencial desenvolvido irá basear-se na métrica RFT, não sendo o padrão de fixação utilizado como métrica de desempenho.

Foi utilizada uma análise estatística através das curvas de ROC para avaliar a sensibilidade e especificidade do teste de OP desenvolvido quando o número de apresentações do estímulo varia. Esta análise foi feita calculando a média dos RFT para as diferentes repetições.

A figura 4.4 apresenta as várias curvas ROC tendo em conta os números de repetições. Assim a curva apresentação 1, indica o RFT calculado quando o estímulo foi apresentado apenas 1 vez e, a curva apresentação 2 indica o RFT calculado a partir da média da primeira e segunda apresentações, sendo que a curva apresentação 10 é calculada pela média das 10

apresentações. Esta abordagem permite conhecer o número de apresentações necessárias para otimizar o desempenho tendo em conta a especificidade e sensibilidade.

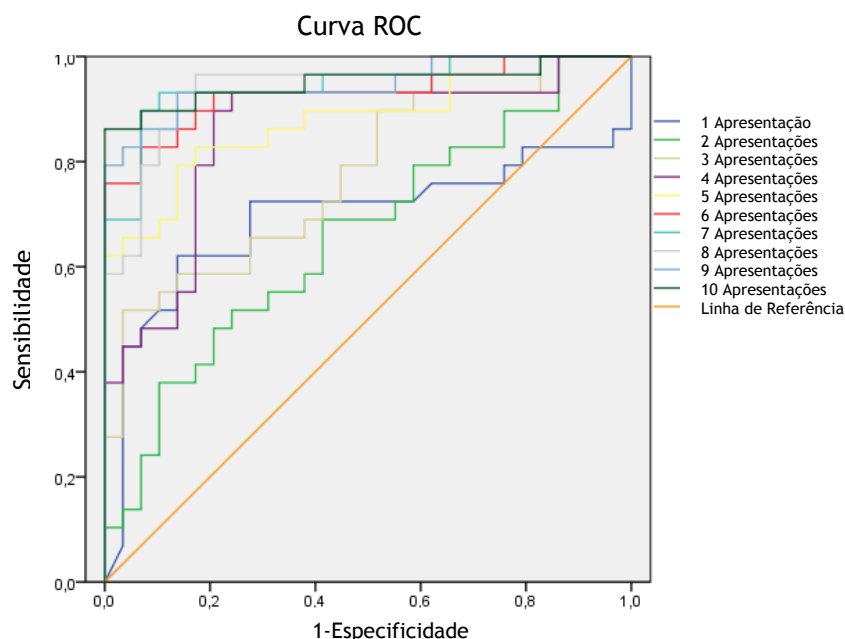


Figura 4.4 - Gráfico com as curvas de ROC representadas de forma cumulativa. São representadas as 10 curvas indicativas das 10 apresentações efetuadas. A indicar que a curva apresentação 1 é calculada quando usado o RFT de 1 apresentação e a curva apresentação 10 usa o RFT médio das 10 apresentações.

Neste caso a especificidade indica a probabilidade do teste em indicar que um indivíduo não vê um estímulo quando de facto ele não o vê mesmo. A sensibilidade indica a probabilidade de o teste indicar que o indivíduo vê o estímulo quando na realidade este o vê mesmo.

Tabela 4.1 - Valores da área abaixo da curva, com o respetivo desvio padrão e a sua significância assintótica.

| Variáveis em Teste | AUC | Desvio Padrão | Significância Assintótica |
|--------------------|------|---------------|---------------------------|
| 1 Teste | ,692 | ,076 | ,012 |
| 2 Testes | ,659 | ,072 | ,038 |
| 3 Testes | ,775 | ,061 | ,000 |
| 4 Testes | ,855 | ,052 | ,000 |
| 5 Testes | ,883 | ,044 | ,000 |
| 6 Testes | ,930 | ,036 | ,000 |
| 7 Testes | ,945 | ,030 | ,000 |
| 8 Testes | ,935 | ,034 | ,000 |
| 9 Testes | ,946 | ,030 | ,000 |
| 10 Testes | ,950 | ,032 | ,000 |

Estas curvas ROC ajudam a descrever a capacidade de discriminação do programa criado, permitindo conhecer o número de repetições necessárias para otimizar o desempenho do teste (capacidade de decisão VS tempo de execução). As áreas abaixo da curva (no inglês Area Under Curve (AUC)) ROC indicam o desempenho do teste. O aumento do número de apresentações

melhora a sensibilidade e especificidade do teste, traduzido pelo aumento da área abaixo da curva, Tabela 4.1.

A tabela 4.1 e figura 4.5 mostram o aumento da AUC que atinge uma assíntota quando o número de apresentações ultrapassa as 6.

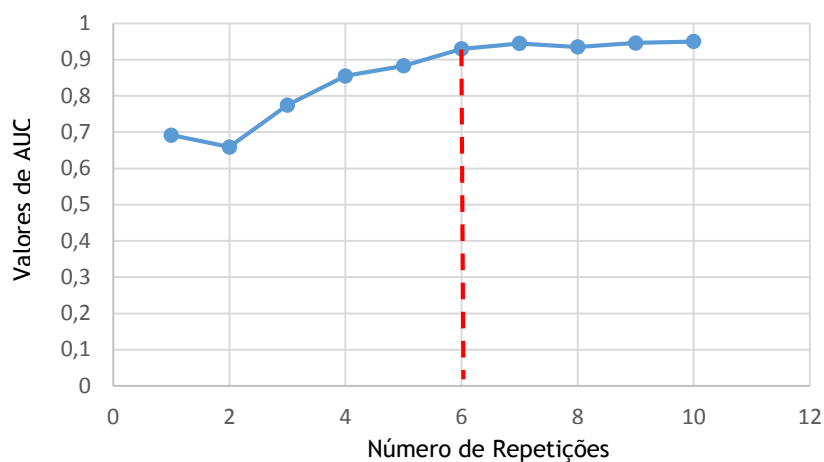


Figura 4.5 - Representação dos valores de AUC da tabela 4.1 através de uma curva.

É considerada então a ROC produzida a partir de 6 apresentações para se retirarem os valores de sensibilidade e especificidade, pois um número superior de repetições não contribui para uma melhoria do desempenho do teste e por sua vez também iria aumentar a duração do mesmo.

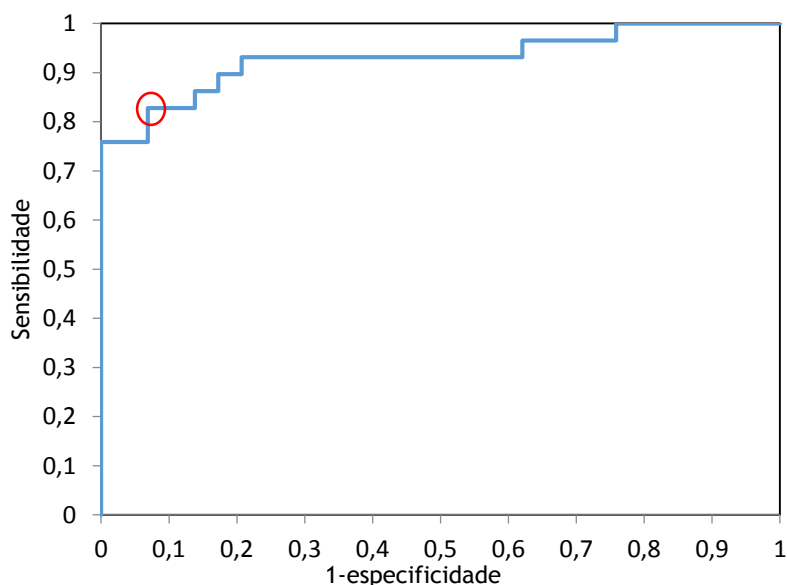


Figura 4.6 - Curva ROC correspondente às 6 repetições onde está assinalado o ponto mais próximo (círculo vermelho) da coordenada $(1 - \text{especificidade}) = 0$ & sensibilidade = 1.

Para determinar qual o RFT que permite obter a máxima sensibilidade e especificidade à curva ROC para 6 apresentações, foi determinado o valor de RFT correspondente à coordenada mais

próxima da coordenada, 1-especificidade = 0 & Sensibilidade = 1, isto é, o valor mais próximo do canto superior esquerdo do gráfico.

O valor mais próximo da coordenada, (1 - especificidade = 0) & sensibilidade = 1, indica uma sensibilidade de 0.83 e um valor de especificidade de 0.93 para um RFT de 60%.

4.4 Conclusões

Ao ser apresentado um estímulo com um padrão complexo os indivíduos em teste têm uma tendência inata a fixar o seu olhar durante mais tempo nesse padrão, em detrimento de outros padrões mais simples que possam ser apresentados a esse indivíduo ao mesmo tempo. Esta é a teoria base da técnica de OP e foi com base nesta afirmação que se construíram as métricas que caracterizam o OP. Neste trabalho inicialmente foram abordadas duas métricas, o padrão de fixações e o RFT.

Sturm (12), na sua investigação utilizou apenas os dados de RFT dos seus indivíduos testados para chegar a uma decisão e estimar a AV dos seus participantes. Nos seus dados os indivíduos que viam o estímulo apresentaram um RFT médio de $72.5\% \pm 9.0\%$, algo que está de acordo com os dados médios de RFT apresentados neste trabalho para este caso, $RFT_{\text{Médio}} = 68\% \pm 9\%$. Nos dados de Sturm em indivíduos que não viam os estímulos o valor médio de RFT é de $25.3\% \pm 8.5\%$. Tendo em conta que Sturm tinha 4 campos de apresentação do estímulo, este valor médio significa que os seus examinandos, quando não viam o estímulo, dividiram o tempo da sua atenção de forma igual pelos 4 campos, algo que vai de acordo com os dados apresentados nesta experiência, onde os examinandos apresentam um $RFT_{\text{Médio}} = 50\% \pm 8\%$, dividiram o seu tempo de atenção de forma igual pelos 2 campos de apresentação, numa tentativa de encontrar o estímulo. Isto só vem a provar que este teste tem capacidade em identificar quando um indivíduo está a ver o estímulo e quando não está.

Através da observação dos valores de AUC foi demonstrado que não seriam necessárias mais de 6 repetições para cada estímulo, como demonstrado na figura 4.5, a partir das 6 repetições o valor de AUC atinge uma assíntota, tornando assim desnecessárias mais apresentações de cada estímulo. Mais apresentações só iriam tornar o teste mais moroso sem benefício para o mesmo.

O padrão de fixações foi uma das métricas de RFT tida em conta nos trabalhos de Fantz(6-8) mas foi sempre avaliada de forma subjetiva pelos operadores. Neste trabalho comprovou-se que o padrão de fixações é uma métrica que permite diferir se o estímulo é visível ou não visível, mas não se mostra uma métrica tão diferenciadora como o RFT. Assim neste teste apenas foi utilizado como métrica do OP os RFT, apesar das fixações terem sido analisadas não demonstraram ser efetivas na melhoria do desempenho do teste. Mas em testes futuros esta métrica poderá ser tida em consideração, uma abordagem diferente poderá tornar esta métrica

mais consistente. Ao invés de se considerar sempre uma contagem de fixação quando o indivíduo em teste dirige o seu olhar para um dos campos, as fixações podem ser apenas contadas quando o indivíduo dirige o seu olhar para o campo onde está o estímulo. Outra métrica, usada em outros trabalhos de OP com operadores humanos, é a direção do primeiro olhar(13-15), quando é apresentado um estímulo supra-limiar a um indivíduo, normalmente, a direção do seu primeiro olhar é para o campo de apresentação do estímulo, esta métrica do RFT poderá ser mais uma forma de aumentar a sensibilidade e especificidade deste teste de OP.

Uma abordagem diferente para este tipo de teste poderá ser uma adaptação de forma a tornar-se num método de rastreio, apresentando um patamar com uma certa frequência e contraste e que demonstre um certo nível de AV (0.0 logMAR por exemplo) onde o teste apenas vai indicar se o indivíduo vê ou não este estímulo único, neste tipo de teste até já se poderão ter em conta outras métricas do OP.

5. Experiência 2

5.1 Introdução

A experiência 1 demonstrou o seguinte:

- O tempo de fixação de um estímulo supra-limiar (visível) é superior ao tempo de fixação de um estímulo infra-limiar.
- A apresentação repetida (6 apresentações) de um estímulo e um RFT de 60% permite decidir se um estímulo é visto ou não com uma sensibilidade de 82% e especificidade de 93%.

A experiência 2 tem como objetivo avaliar o desempenho do teste de OP desenvolvido, numa população de indivíduos com erro refrativo não corrigido.

Para tal, o teste do OP baseou-se na apresentação de um estímulo em riscas quadradas com frequência espacial representativa de AV 0.00 logMAR. A decisão do teste de OP (estímulo visto ou não visto) foi comparada com o valor do limiar de detecção para um estímulo idêntico.

5.2 Métodos

O limiar de detecção de um padrão de riscas quadradas verticais de alto contraste (100%) foi medido utilizando um método em escada, definido como o método padrão. O teste de OP consistiu na apresentação repetida (6 vezes) de riscas quadradas verticais com contraste de 100% com uma frequência espacial de 32.9 cpq, equivalente a uma AV de -0.00 logMAR.

A aplicação do critério de decisão (RFT >60%) ao teste de OP permitiu decidir se o indivíduo viu o estímulo, sendo o desempenho do teste determinado pela relação da decisão e o valor do limiar de resolução de cada indivíduo.

O esquema experimental desta experiência foi descrita no capítulo 3, existindo algumas variações, que são abordadas nos seguintes subcapítulos.

5.2.1 Participantes

Participaram neste estudo 20 pessoas com idades entre os 19 e os 35, com uma mediana de idades de 21.5 anos. Os critérios de inclusão foram: ausência de patologia ocular, indivíduos emetropes (foram considerados emetropes se a sua refração tivesse entre -1.00D e +1.00D) ou com miopias inferiores a -10.00D e astigmatismo inferior a 1.00D e que tivessem interesse em participar no estudo.

O erro refrativo dos participantes foi medido com o auxílio de um auto-refratômetro de campo aberto (Grand Seiko WAM-5500, Tokyo, Japão).

Todos os participantes na experiência 2 foram testados, sem qualquer tipo de compensação refrativa. Os testes foram feitos de forma monocular, com o olho usado para teste a ser escolhido aleatoriamente.

Os participantes tiveram conhecimento da natureza do trabalho através de informação escrita e oral, o consentimento informado foi assinado por todos os participantes.

5.2.2 Medição de Acuidade Visual com o Teste em Escada

Foi utilizado um teste em que se usa o método psicofísico em escada, Este teste tinha protocolo semelhante ao que foi realizado na experiência 1, com a diferença que no protocolo atual era modificada a frequência espacial para um contraste de 100%. O estímulo foi posicionado no centro do monitor num campo de apresentação com dimensões de $0,035^\circ$ na vertical e de $0,035^\circ$ na horizontal. A luminância média do estímulo nesta experiência manteve-se em 85 cd/m^2 .

Este teste em escada tinha 11 frequências possíveis que podem aparecer nos estímulos mostrados no monitor (131.7, 65.9, 43.9, 32.9, 26.3, 21.9, 18.8, 16.5, 14.6, 13.2, 11.9 cpg). O teclado foi usado para o indivíduo em teste indicar se via o estímulo ou não. Cada estímulo foi apresentado durante 1500 ms. Este teste em escada apresentava um estímulo com frequência espacial de 21.9 cpg no primeiro estímulo. Este procedimento em escada variava a frequência da seguinte forma: sempre que o indivíduo indicasse que o estímulo era visto a frequência era incrementada para a maior frequência espacial seguinte, isto é, de uma frequência de 21.9 cpg iria passar para 26.3 cpg. E assim sucessivamente até o indivíduo indicar que não via o estímulo. Quando isso acontece dá-se uma inversão e decresce o valor da frequência espacial anterior. Sempre que o indivíduo para uma determinada frequência espacial indicasse que não a via era contabilizada uma inversão, quando numa determinada frequência o indivíduo indicasse por três vezes que não a estava a ver (3 inversões), era determinado o ponto de paragem do programa, ficando a AV do observador registada como a menor frequência antes daquela em que o examinando indicou que não via por 3 vezes.

5.2.3 Avaliação de Acuidade Visual com o Teste de Olhar Preferencial

Este teste tem como base uma medição de AV com a técnica de OP. O teste consiste na apresentação na tela de um monitor de um estímulo com apenas uma frequência, no mesmo sistema de campo bipartido em que num lado é apresentado o estímulo e no outro um padrão homogêneo cinzento. A frequência utilizada foi a frequência de 32.9 cpg. Devido às limitações do monitor não se conseguiu apresentar um estímulo cuja frequência tivesse uma equivalência completamente igual ao valor de 0.0 logMAR. O estímulo foi depois apresentado 6 vezes e foi

calculada a média do RFT das 6 medições. A decisão de se o estímulo era visto ou não foi tomada com base no valor RFT=60%.

5.2.4 Estatística

O desempenho do teste de OP foi calculado comparando a decisão do teste de OP com o valor do limiar de detecção. Para tal, a decisão do teste de OP foi transformada numa decisão binária (0 - indivíduo não viu estímulo, RFT<60%; 1 - indivíduo viu o estímulo, RFT ≥60%). O valor do limiar de detecção sofreu o mesmo tipo de transformação (0 - frequência espacial do limiar inferior a 32.9 cpg; 1 - frequência espacial do limiar superior a 32.9 cpg). O desempenho do teste foi determinado através da percentagem de falsos negativos (indivíduos que viam o estímulo mas o teste indicou que não o viam) e falsos positivos (indivíduos que não viam o estímulo mas o teste indicou que viam) e comparados através o teste estatístico Qui-Quadrado. A análise estatística foi efetuada com o *software* de análise estatística *IBM SPSS Statistics* (Versão 22.0.0.0).

5.3 Resultados e Discussão

O erro refrativo (equivalente esférico) médio dos indivíduos foi de $-1.45 \pm 1,63$ D. O limiar de detecção médio medido pelo método em escada foi de $30.03 \pm 7,58$ cpg. O teste de OP indicou que 16 indivíduos viram o estímulo com frequência espacial superior a 32.9 cpg. Os valores na transformação binária são apresentados na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Representação dos resultados dos 2 testes realizado aos 20 indivíduos.

| | 0 - Estimulo Não Visto | | 1 - Estimulo Visto | |
|--------------|------------------------|--------|--------------------|--------|
| | OP | Escada | OP | Escada |
| Indivíduo 1 | 1 | 0 | Indivíduo 11 | 1 |
| Indivíduo 2 | 1 | 0 | Indivíduo 12 | 1 |
| Indivíduo 3 | 1 | 0 | Indivíduo 13 | 0 |
| Indivíduo 4 | 1 | 1 | Indivíduo 14 | 1 |
| Indivíduo 5 | 1 | 0 | Indivíduo 15 | 0 |
| Indivíduo 6 | 1 | 0 | Indivíduo 16 | 1 |
| Indivíduo 7 | 0 | 0 | Indivíduo 17 | 1 |
| Indivíduo 8 | 1 | 1 | Indivíduo 18 | 1 |
| Indivíduo 9 | 0 | 0 | Indivíduo 19 | 1 |
| Indivíduo 10 | 1 | 1 | Indivíduo 20 | 1 |

A tabela 5.2 sumariza a comparação entre os dois métodos.

Tabela 5.2 - Representação sumária dos resultados dos 2 testes realizado aos 20 indivíduos.

| | | AV Teste em Escada | | Total |
|-----------------------|------------|--------------------|-----------|-------|
| | | Vê -1 | Não Vê- 0 | |
| AV Olhar Preferencial | Vê - 1 | 10 | 6 | 16 |
| | Não Vê - 0 | 0 | 4 | 4 |
| Total | | 10 | 10 | 20 |

O teste de OP e o teste em escada concordaram em 70% dos indivíduos testados, $\chi^2=5.00$, $p=0.087$.

Em comparação com o teste padrão o teste de OP apresentou uma taxa de falsos positivos de 30% e falsos negativos de 0%.

A sensibilidade do teste de OP foi de 100%, este valor é dado devido ao facto do teste não apresentar falsos negativos. A especificidade do teste foi de 40%.

5.4 Conclusões

O teste de OP desenvolvido permitiu, numa população com erro refrativo não corrigido identificar, 70% dos indivíduos corretamente, como tendo visto ou não o estímulo. No entanto o teste não identificou 30% dos indivíduos com um limiar baixo dos 32.9 cpg, indicando que o desempenho do teste difere do previsto na experiência 1.

O teste de OP revela capacidade em indicar quando um indivíduo vê o estímulo. Nestes casos são indivíduos cujo limiar de detecção do estímulo está acima do valor 32.9 cpg, indicado pelo valor do teste em escada. O RFT destes 10 indivíduos tem uma média $84.14\% \pm 8.08\%$, isto é um indício de que estes indivíduos viram o estímulo sem dificuldade, algo que o teste de OP indicou, em concordância com os dados do teste em escada.

No que toca aos 4 indivíduos em que ambos os testes concordaram que não viram o estímulo, o RFT médio do teste de OP também é esclarecedor, $49.02\% \pm 4.56\%$, bem abaixo dos 60% definido como ponto de transição.

Nos 6 outros indivíduos em que os testes não concordam entre si o RFT médio foi de $68.28\% \pm 7.39\%$, um valor bem mais próximo dos 60%. Estes 6 indivíduos apresentavam um limiar de detecção, indicado pelo teste em escada, de 26.3 cpg, o valor de frequência inferior imediatamente a seguir aos 32.9 cpg. Existe assim uma possibilidade de estes indivíduos ainda terem reconhecido algum traço ou algum detalhe na frequência de 32.9 cpg, algo que poderá

não ter sido suficiente para eles indicarem no teste em escada que estavam a ver o padrão de riscas, mas que no caso do teste de OP pode ter sido suficiente para lhes prender a atenção no campo onde estava o estímulo de forma a atingirem um RFT ligeiramente superior aos 60%, isto apesar de não estarem a ver o estímulo. Outro motivo para ambos os testes não concordarem pode estar relacionado com a subestimação do valor do limiar de detecção quando medido pelo teste em escada, por exemplo associado ao menor tempo de apresentação do estímulo 1500 ms, quando comparado com o tempo de apresentação no teste de OP (2500 ms).

Apesar do valor reduzido de especificidade este teste de avaliação de AV dá garantias quando se trata de identificar indivíduos com uma AV superior, que estão de facto a ver os estímulos, como demonstra a sensibilidade do teste. Mas em indivíduos cuja AV está mais próxima do ponto de decisão do teste, este já apresenta uma maior dificuldade em avaliar se estão a ver o estímulo ou não. Uma forma de contornar esta questão poderia ser em aumentar o RFT de decisão, que está fixado nos 60%, para um valor de 65% ou até de 70%. Com os 70%, o valor de RFT de decisão já ficaria acima do valor médio de RFT de 68.28%, dos 6 indivíduos que causaram os falsos positivos. O ajuste do valor de RFT para reduzir o número de falsos positivos, poderá ser uma estratégia a adotar para tornar o teste mais adequado a um teste de rastreio, pois neste tipo de teste não se vai querer deixar passar indivíduos que não veem efetivamente o teste, ainda que esta estratégia passasse a englobar mais falsos negativos.

Este tipo de teste, rápido, prático com uma resposta de vê não vê, pode ser utilizado como um teste de triagem dedicado a populações pediátricas ou com dificuldades de comunicação verbal.

6 Experiência 3

6.1 Introdução

A experiência 3 tem como objetivo avaliar a capacidade do teste de OP, apresentado de forma automática pela plataforma informática, na medição da AV numa população com erro refrativo não corrigido.

Esta plataforma informática apresenta um teste de OP constituído por um campo bipartido, com uma estratégia de escolha forçada, onde foi apresentado um campo com um estímulo (foram usados 10 estímulos de frequências espaciais diferentes representativos de várias AV's) e um outro campo sem estímulo. No fim estes resultados foram comparados com a medição de AV realizada na experiência 2 com o teste psicofísico em escada e com a medida de AV realizada com o uso de uma carta ETDRS (E's de Snellen rotativos) de forma a determinar se a plataforma informática consegue identificar diferenças de AV produzidas por diferentes erros refrativos, tal como a carta ETDRS consegue fazer.

6.2 Métodos

6.2.1 Participantes

A amostra usada nesta experiência foi a mesma utilizada na experiência 2, ver subcapítulo 5.2.1.

6.2.2 Medição de Acuidade Visual com o Teste em Escada

Os dados medidos usando o teste em escada da experiência 2 também foram usados e comparados com os dados da AV medidos com a carta ETDRS, ver subcapítulo 5.2.2.

6.2.3 Medida de Acuidade Visual com uma Carta ETDRS com E's de Snellen

Esta medida da AV foi feita com recurso a uma carta de AV com optótipos. A carta utilizada foi uma carta ETDRS com E's rotativos (ver figura 6.1), os participantes sentaram-se a 4 metros. As AV's medidas através destas cartas foram depois apontadas em escala logarítmica de AV, logMAR, usando a seguinte fórmula: $1.2 - (\text{número de letras lidas} \times 0.02)$.

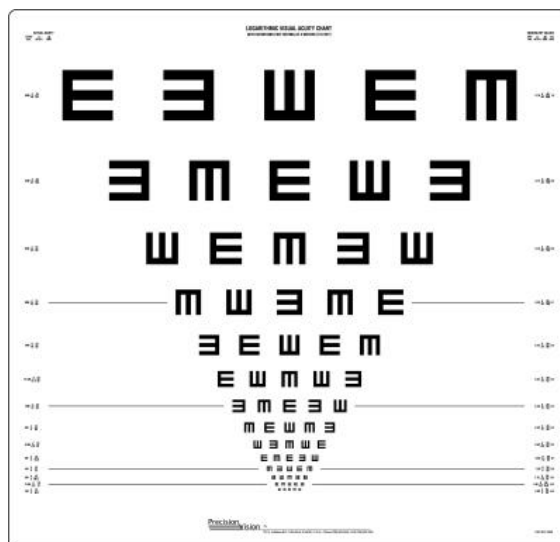


Figura 6.1 - Carta de medição de AV ETDRS com E's rotativos que foi utilizada na medição das AV's para a experiência 3.

6.2.4 Medição de Acuidade Visual com o Teste de Olhar Preferencial

Este teste tem como base a medição da AV com uma técnica de OP onde os indivíduos só tinham de olhar para os estímulos que foram mostrados na tela do monitor, sem ser necessário qualquer tipo de resposta dos mesmos. Foram mostrados num monitor dois campos de apresentação (dimensões: a 0.035° na vertical e a 0.035° na vertical), espacialmente separados em 140 mm ($\sim 2.0^\circ$). Um dos campos de apresentação mostra o estímulo, no outro lado o campo apresenta um padrão homogêneo (ver figura 6.2), mas ao contrário do que aconteceu na experiência 1, o que variou neste procedimento foi a frequência dos estímulos demonstrados. Foram usadas redes quadradas com um contraste fixo de 100% e com uma luminância média de 85 cd/m^2 , tanto no estímulo como no campo com o padrão homogêneo.

Foram usadas 10 frequências diferentes apresentadas de forma aleatória (131.7, 65.9, 43.9, 32.9, 26.3, 21.9, 18.8, 16.5, 14.6, 13.2 cpq), sendo que a maior frequência suportada pelo monitor foi a frequência de 131.73 cpq, esta frequência vai corresponder à AV máxima de $-0,6425 \text{ logMAR}$, uma AV impossível de ser atingida pelo ser humano, pois estamos a falar de uma frequência espacial demasiado elevada para ser detetada pelo olho humano. A menor frequência é de 13.17 cpq que corresponde à AV de 0.3575 logMAR . O estímulo foi apresentado 6 vezes numa ordem aleatória, com uma duração de 2500 ms, entre cada estímulo o programa apresentou um estímulo central igual ao apresentado na calibração/alinhamento, um "smile" de fixação com um aviso sonoro, de forma a manter os indivíduos a olhar para a tela do monitor durante o tempo que demora a aparecer um novo estímulo. A duração de cada teste foi cerca de 3 minutos.

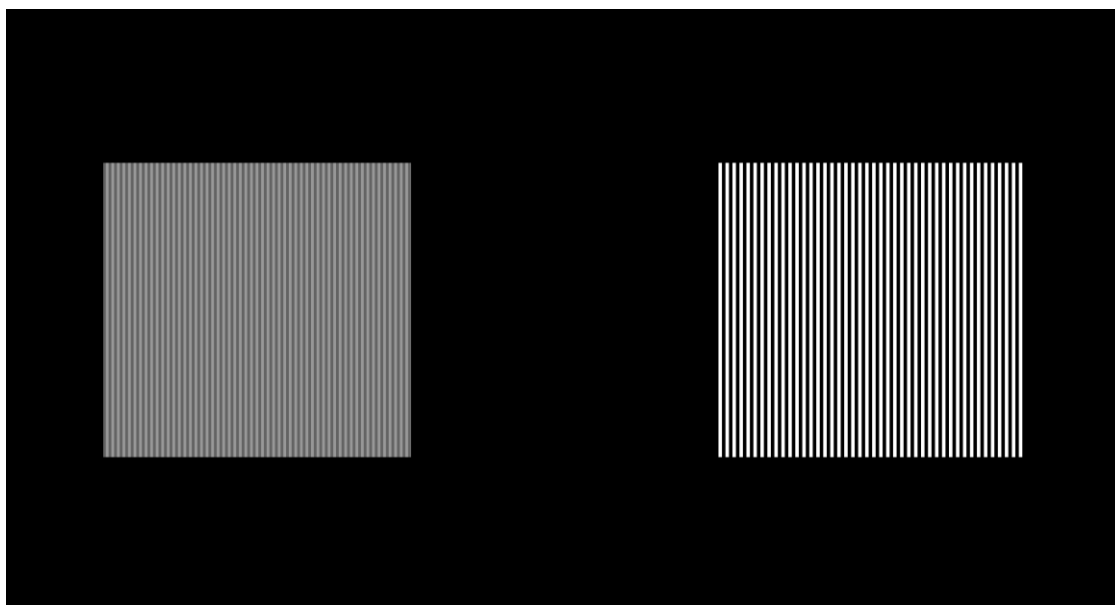


Figura 6.2 - Janela tipo da apresentação que o teste de medição de AV com OP mostra no monitor, com o estímulo do lado direito (campo com estímulo) e com o padrão homogêneo (campo neutro) do lado esquerdo.

De forma a determinar um valor de AV dos indivíduos testados foi feito um ajuste com uma curva sigmoidal, para os valores do RFT em função da AV em MAR. Foi definido que o valor da AV será dado pelo ponto intermédio que será formado entre os dois patamares da curva sigmoidal (Ver figura 6.3). Num indivíduo com RFT's de 100% para estímulos visíveis e de 50% para estímulos abaixo do limiar, o valor da AV seria indicado por um RFT de 75%.

Para avaliação da AV dos examinandos este valor foi posteriormente convertido para logMAR.

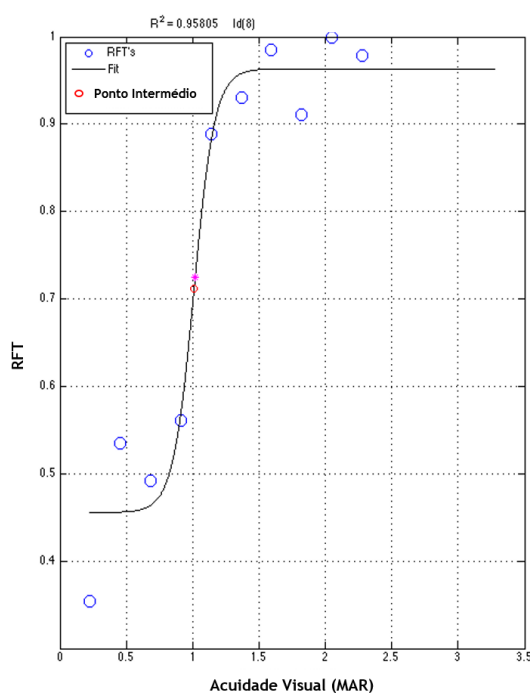


Figura 6.3 - Gráfico da curva sigmoidal da AV de um dos indivíduos testados, onde é feito um corte na curva de onde o programa recolhe a AV final.

6.3 Resultados e Discussão

6.3.1 Determinação da Acuidade Visual através do Olhar Preferencial

Através da técnica do OP determinaram-se as AV's dos 20 indivíduos examinados, sendo que para cada um deles foi criada uma curva sigmoideal (como a da figura 6.2) e através da análise das mesmas, com base no RFT de cada um dos indivíduos para as 6 frequências apresentadas, determinou-se o ponto intermédio das curvas sigmoideais e procedeu-se ao cálculo de uma estimativa de AV de cada um dos indivíduos. O valor médio de AV obtido pelo teste de OP foi de -0.065 ± 0.147 logMAR. De seguida são apresentadas (figura 6.4) algumas das curvas sigmoideais dos indivíduos examinados, com o círculo vermelho nas curvas a representar o ponto intermédio de cada uma delas que foi usado no cálculo da AV.

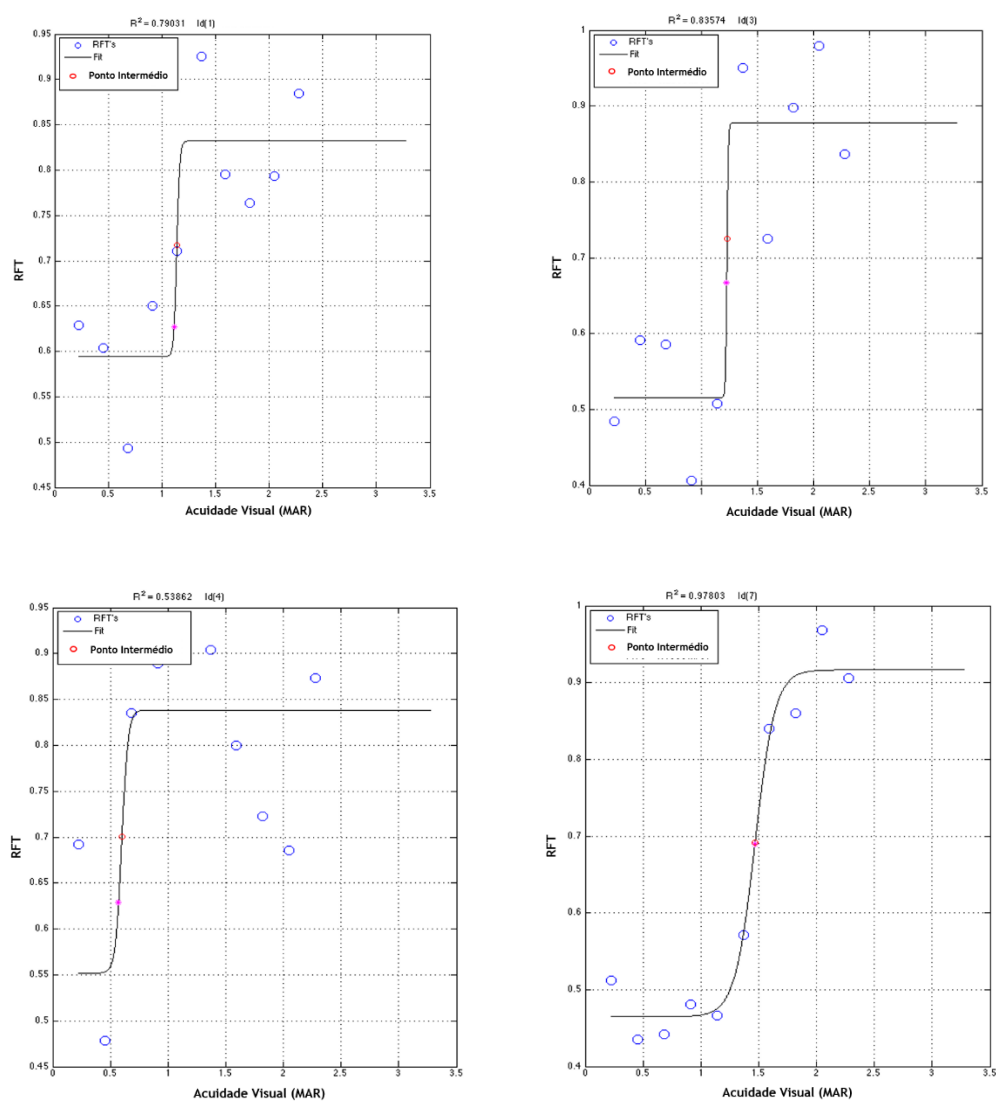


Figura 6.4 - Gráficos das curvas sigmoideais pertencentes a 4 indivíduos da amostra analisada.

O valor médio do coeficiente de determinação R^2 para cada um dos indivíduos analisados foi de 0.88 ± 0.10 .

6.3.2 Comparação das medições de Acuidade Visual dos E's Rotativos, Teste em Escada e Olhar Preferencial

Na tabela 6.1 seguinte são apresentados os valores médios de AV de cada um dos testes efetuados com a carta ETDRS com os E's rotativos de Snellen, com o teste em escada e com o teste de OP.

Tabela 6.1 - Média das AV's medidas com cada um dos três diferentes testes, com o seu respetivo desvio padrão

| | Média (logMAR) | Desvio Padrão(logMAR) |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| E's de Rotativos | 0.381 | 0.441885 |
| Teste em Escada | -0.02119 | 0.103645 |
| Teste de OP | -0.06522 | 0.147309 |

Os valores de AV de cada um dos indivíduos, para cada um dos testes, foram comparados entre si com auxílio de gráficos de dispersão. No gráfico da figura 6.5 está a primeira comparação, medições de AV dos E's de Snellen com o teste em escada.

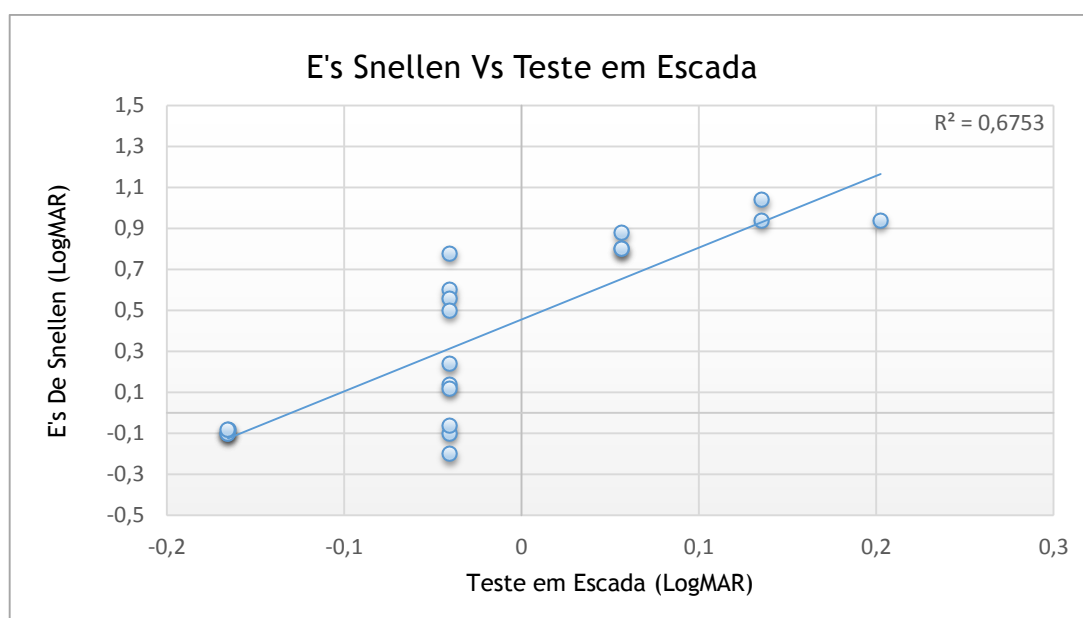


Figura 6.5 - Gráfico de dispersão com a comparação das medições de AV entre os E's de Snellen e o teste em escada.

O gráfico da figura 6.5 apresenta vários patamares no eixo das abcissas, isto é devido ao teste em escada que tem apenas 10 possíveis valores de AV's diferentes. Neste caso, com esta amostra de 20 indivíduos, obtiveram-se medições em 5 diferentes AV's, daí os 5 patamares diferentes na horizontal. O coeficiente de determinação da comparação dos valores destas duas amostras apresenta um $R^2 = 0.6753$, o que indica uma boa correlação entre os dois testes.

O gráfico da figura 6.6 apresenta a comparação dos valores de AV's do teste de OP com os E's rotativos.

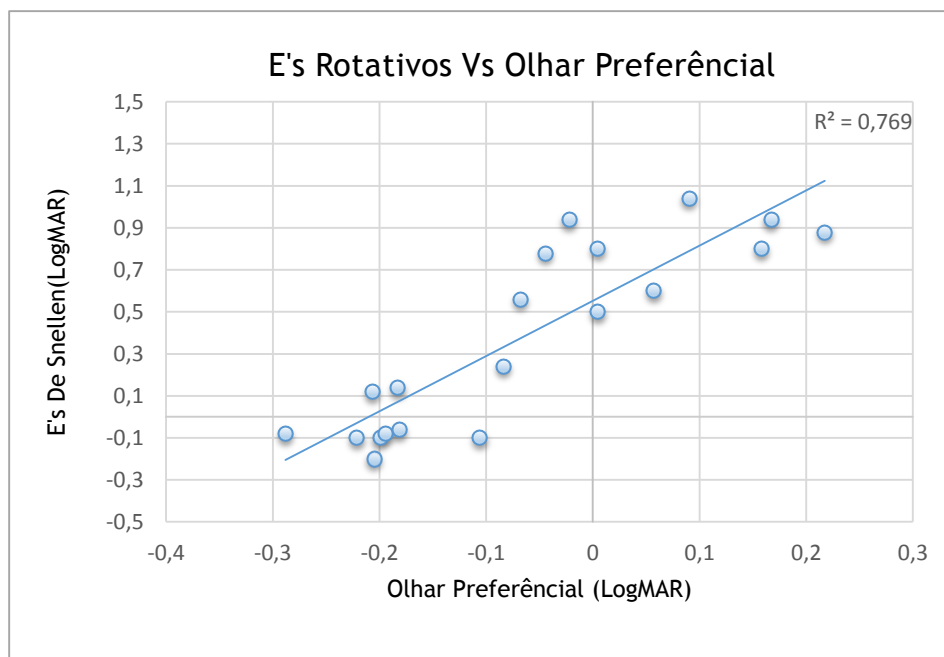


Figura 6.6 - Gráfico de dispersão com a comparação das medições de AV entre os E's rotativos e o teste de OP.

O coeficiente de determinação da comparação dos valores destas duas amostras apresenta um $R^2 = 0.769$, o que demonstra uma forte correlação entre os dois testes. Neste teste já existe uma maior dispersão dos pontos de AV.

Em seguida é apresentada a figura 6.7 que demonstra o gráfico da comparação dos valores de AV do teste de OP com o teste em escada.

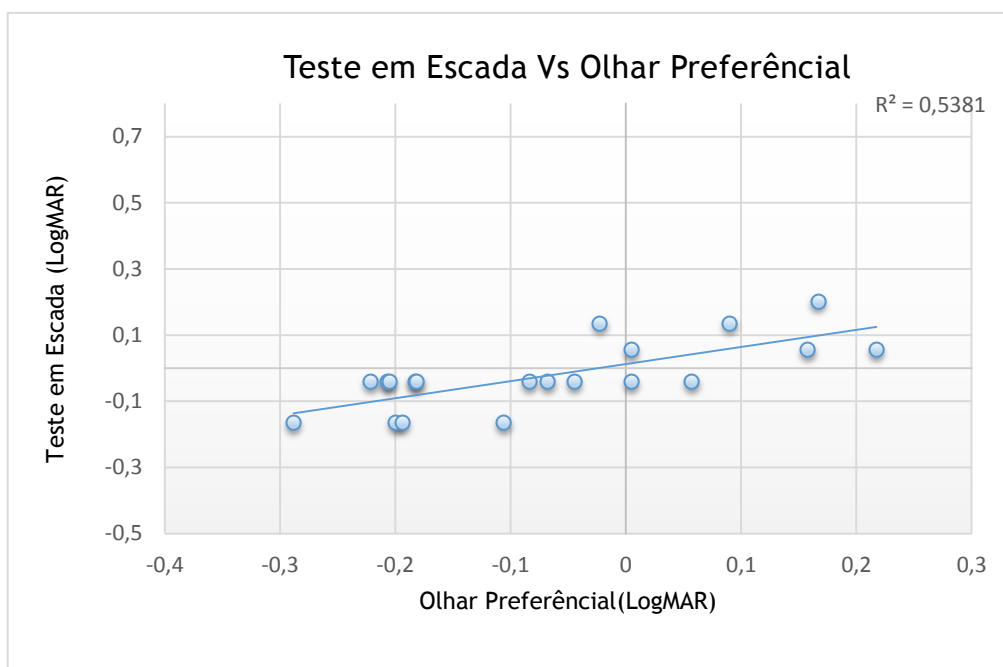


Figura 6.7 - Gráfico de dispersão com a comparação das medições de AV entre o teste em escada e o teste de OP.

O coeficiente de determinação da comparação dos valores destas duas amostras apresenta um $R^2 = 0.5381$, isto já demonstra uma correlação moderada e menos forte quando comparado com as duas primeiras comparações. Neste gráfico já voltam a existir os 5 patamares de AV que o teste em escada apresentou no gráfico da figura 6.5.

6.3.3 Relação da Acuidade Visual com o Erro Refrativo

A amostra usada na experiência 3 era constituída por indivíduos com erro refrativo, e esse erro não foi corrigido durante os testes realizados. O valor médio do erro refrativo dos indivíduos desta amostra foi de $-1.45D \pm 1,63D$. O gráfico da figura 6.8 representa a relação que a AV medida tem com o erro refrativo dos indivíduos, isto no teste com a carta dos E's rotativos.

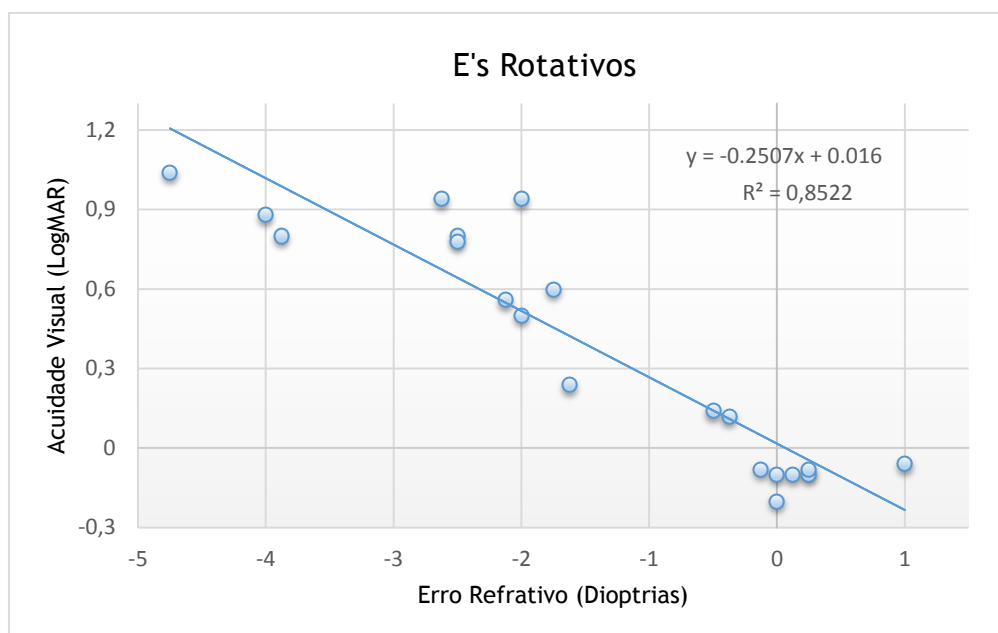


Figura 6.8 - Gráfico de dispersão com a relação da AV com o erro refrativo dos indivíduos no teste com a carta dos E's rotativos.

O declive da reta de tendência do gráfico da figura 6.8 é $m = -0.2507$. O teste com os E's de Snellen revela que à medida que o erro refrativo aumenta a AV vai diminuindo de forma consistente e gradual. Demonstrando que no valor de refração que equivale a uma pior visão (-4.75 D) vai também demonstrar um pior valor de AV (0.94 logMAR).

O R^2 demonstra a correlação entre o erro refrativo e teste com os E's rotativos, neste caso temos uma correlação forte de $R^2 = 0.8522$

Em baixo é apresentada a figura 6.9 que demonstra o gráfico com a relação que a AV medida tem com o erro refrativo dos indivíduos no teste em escada.

O declive da reta de tendência do gráfico da figura 6.9 é $m = -0.0455$. No caso do teste em escada, demonstra um decréscimo de AV com um aumento do erro refrativo, mas não de forma tão consistente e clara (o declive menor comprova essa suavização do decréscimo) como com os E's rotativos. O R^2 de 0.5103 atesta essa menor correlação.

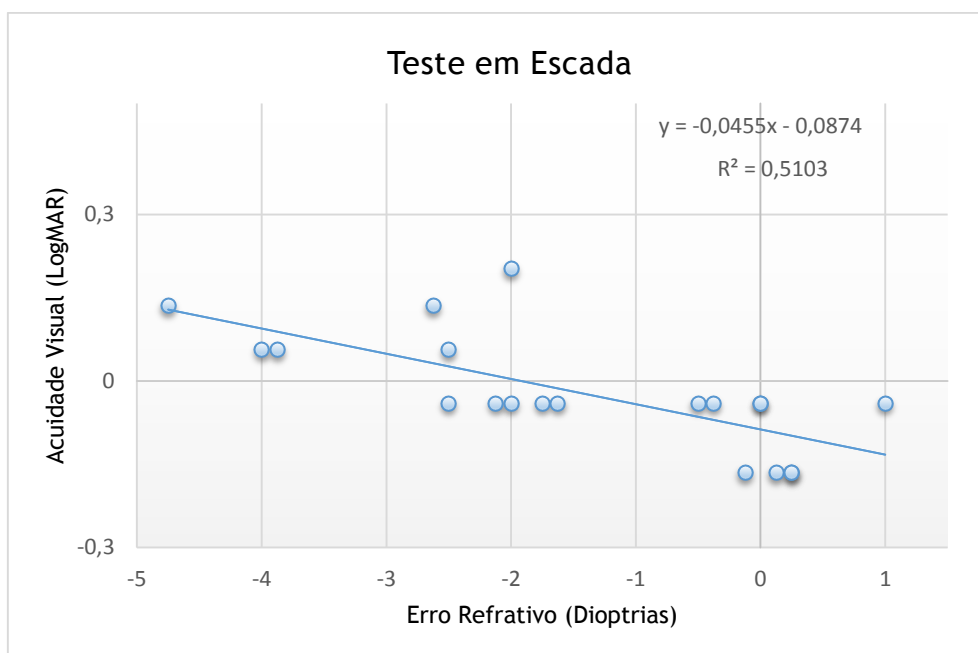


Figura 6.9 - Gráfico de dispersão com a relação da AV com o erro refrativo dos indivíduos no teste em escada.

No próximo gráfico (figura 6.10) é representada a relação do erro refrativo com o teste de OP.

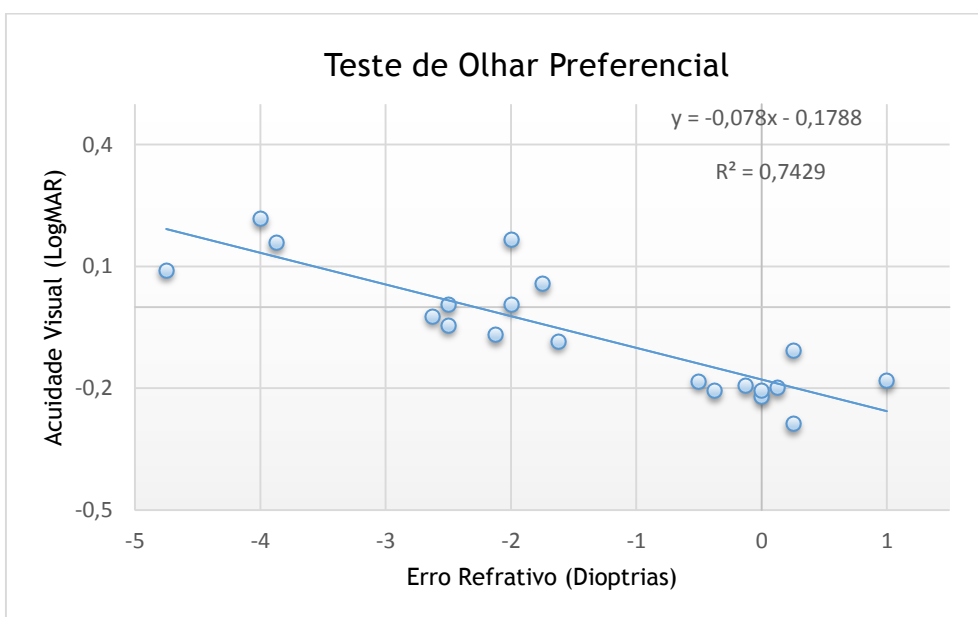


Figura 6.10 - Gráfico de dispersão com a relação da AV com o erro refrativo dos indivíduos no teste de olhar preferencial.

O declive da reta de tendência do gráfico da figura 6.10 é $m = -0.078$. No teste de OP o valor do declive volta a aumentar, sugerindo um decréscimo de AV mais gradual com o aumento do erro refrativo. Demonstra, tal como o gráfico da figura 6., que nos valores de miopia mais elevados (-4.750D, -4.000D, -3.875D) as AV's menores. O R^2 de 0,7429 demonstra que no teste de OP o erro refrativo tem uma maior influência nos resultados de AV.

6.4 Conclusões

O teste de medição de AV com a técnica de OP através da plataforma informática criada permite fazer medições automáticas, sem qualquer tipo de resposta em indivíduos adultos, de forma rápida (menor tempo de teste para cada olho) e com uma forte correlação com um teste de medição de AV dos mais comuns e utilizados.

Foi demonstrado na tabela 6.1 através das médias de AV de cada um dos 3 testes que tanto o teste com OP como o teste em escada têm uma tendência em sobrestimar os valores de AV em comparação com o teste onde se utilizam os E's rotativos. Isto concorda com o trabalho desenvolvido por Schwartz e Thorn(27), onde a AV de discriminação medida com optótipos está limitada ao primeiro zero da função de modulação ótica, enquanto que a detecção de redes quadradas ou sinusoidais não está limitada e este valor e prolonga-se pela região designada de *spurious resolution* da curva de modulação de transferência ótica.

A métrica RFT obtida para os vários estímulos, isto é para os vários níveis de AV, apresenta uma distribuição descrita por uma curva sigmoideal. A determinação do ponto intermédio entre patamares da curva sigmoideal permite a determinação dos valores de AV, tal como é possível ver pela relação existente entre estes valores e o valor de AV medido com a carta de E's rotativos ($R^2 = 0.769$). Também o valor do limiar medido no teste em escada mostrou uma forte relação com a AV medida com os E's rotativos, embora o coeficiente de determinação ($R^2 = 0.538$) seja menor, motivado por uma distribuição da AV mais discreta no teste em escada.

Uma dioptria de erro refrativo esférico demonstrou diminuir a AV medida com E's rotativos em cerca de 0.25 logMAR (2.5 linhas), uma degradação ligeiramente menor que a reportada em outros estudos(29).

No caso do teste em escada esta relação inversa da magnitude do erro refrativo com o valor de AV já não é tão acentuada. A explicação deste fenómeno está associado a dois factores, a já referida limitação dada pelos 10 valores fixos de frequência, mas também principalmente devido à já abordada sobrestimação dos valores de AV que este teste produz com as redes quadradas. O teste do olhar preferencial e o teste em escada apresentam relações semelhantes com a magnitude do erro refrativo, com a variação de aproximadamente 0.05 a 0.1 logMAR por dioptria de desfocagem.

Esta é uma questão relacionada com a natureza do estímulo apresentado, redes quadradas, e uma forma de tentar aproximar esta medição com OP, a uma medição mais tradicional de AV seria efetuar uma alteração do tipo de estímulo mostrado na tela do monitor, a apresentação de um estímulo mais complexo, como por exemplo as figuras de Kay(21, 22) ou os símbolos de Lea(25).

7 Conclusões Finais e Trabalhos Futuros

Os testes de OP sempre foram uma opção válida para serem utilizados em indivíduos incapazes de verbalizar a suas respostas (crianças pré - verbais, pessoas com deficiência intelectual), mas estes testes são muito dependentes da capacidade de análise do indivíduo que está a realizar o teste, e a forma subjetiva como analisa as característica inerentes das movimentações oculares de um indivíduo a um teste de OP. Ao automatizar este processo de análise das movimentações oculares, são eliminados os factores subjetivos ligados ao operador, tornando o teste de OP mais objetivo e rápido.

Neste trabalho de investigação foi criada uma plataforma informática de forma a automatizar este processo.

A experiência 1 demonstra que o RFT de indivíduos quando vêm o estímulo é superior a quando não o vêm. Este teste evidência uma diferença nos valores de RFT que permitem afirmar que tem capacidade em identificar quando um indivíduo está a ver um estímulo ou não. Também demonstrou que não é necessária uma amostragem com uma repetição de estímulos muito elevada, inicialmente pensou-se em 10, mas com 6 repetições a capacidade de decisão do teste é praticamente a mesma e o seu tempo de execução é diminuído quase para metade.

O teste de OP desenvolvido na experiência 2 conseguiu identificar, corretamente, 70% dos indivíduos como tendo visto o estímulo ou não. Este teste apresentou resultados particularmente fortes quando se tratou de avaliar indivíduos com AV's maiores. Os 30% da amostra mal avaliados foram indivíduos cujas AV's estavam muito próximas do ponto de decisão do teste.

Na experiência 3 o teste de medição de AV com OP permitiu cumprir o objetivo principal definido no início deste trabalho de investigação. Conseguir avaliar AV's de forma objetiva. A forte correlação entre as medições do teste de OP com as da carta ETDRS dos E's rotativos ($R^2 = 0.769$) atesta ao cumprimento deste objetivo. Apesar de tudo verificou-se uma esperada sobrestimação dos valores de AV medidos com o teste de OP, isto devido ao tipo de estímulos que foram usados neste teste (redes quadradas). Esta sobrestimação foi confirmada com a análise da relação do erro refrativo dos indivíduos com a AV.

Contudo a plataforma informática criada para estes testes ainda possui alguns constrangimentos com espaço para melhoria no futuro. A compensação dos movimentos involuntários da cabeça dos indivíduos por parte da plataforma é um dos mais significativos constrangimentos. Movimentos por parte dos indivíduos em teste, mesmo que ligeiros, em alguns casos provoca algumas falhas na captura e processamento das imagens dos movimentos oculares. Para ajudar a compensar isto recorreu-se a uma mentoneira, algo que futuramente se pretende abdicar.

Testado numa população normal e adulta este teste provou dar medições de AV comparáveis com testes de AV usados habitualmente na prática clínica.

Futuramente esta plataforma será testada numa população de indivíduos com algum tipo de deficiência intelectual, que não consigam verbalizar da melhor forma as suas respostas em testes tradicionais de AV ou que a sua resposta não seja a mais objetiva. Para isso dois pontos importantes a melhorar são:

- O já abordado melhoramento da compensação dos movimentos da cabeça seria um passo importante, visto que com uma população com deficiência intelectual, os movimentos de cabeça serão um factor de destabilização do sistema de maior magnitude.
- A sobrestimação de AV associada aos estímulos de redes quadradas.

O primeiro ponto apenas com mais trabalho a nível da construção do programa poderá ser melhorado.

O segundo com a alteração dos estímulos usados neste trabalho, que aproximem a AV de detecção com a AV de discriminação, como poderá ser o caso de estímulos esbatidos (*vanishing optotype*).

Bibliografia

1. Colenbrander A. The Historical Evolution of Visual Acuity Measurement. Meeting of the Cogan Society for Ophthalmic History; San Francisco 2001.
2. Sloan LL. New test charts for the measurement of visual acuity at far and near distances. *American journal of ophthalmology*. 1959;48:807-13.
3. Bailey IL, Lovie JE. New design principles for visual acuity letter charts. *Am J Optom Physiol Opt*. 1976;53(11):740-5.
4. Ferris FL, 3rd, Kassoff A, Bresnick GH, Bailey I. New visual acuity charts for clinical research. *American journal of ophthalmology*. 1982;94(1):91-6.
5. Gardiner PA. Sheridan gardiner test. *The British journal of ophthalmology*. 1972;56(5):442.
6. Fantz RL. Pattern Vision in Young Infants. *Psychol Rec*. 1958;8(2):43-7.
7. Fantz RL, Ordy JM, Udelf MS. Maturation of Pattern Vision in Infants during First 6 Months. *J Comp Physiol Psych*. 1962;55(6):907-6.
8. Fantz RL. Pattern Vision in Newborn Infants. *Science*. 1963;140(356):296-6.
9. Banks MS, Salapatek P. Acuity and Contrast Sensitivity in 1-Month-Old, 2-Month-Old, and 3-Month-Old Human Infants. *Invest Ophth Vis Sci*. 1978;17(4):361-5.
10. Brown AM. Development of Visual Sensitivity to Light and Color-Vision in Human Infants - a Critical-Review. *Vision Res*. 1990;30(8):1159-88.
11. Birch EE, Shimojo S, Held R. Preferential-Looking Assessment of Fusion and Stereopsis in Infants Aged 1-6 Months. *Invest Ophth Vis Sci*. 1985;26(3):366-70.
12. Sturm V, Cassel D, Eizenman M. Objective Estimation of Visual Acuity with Preferential Looking. *Invest Ophth Vis Sci*. 2011;52(2):708-13.
13. Teller DY, Morse R, Borton R, Regal D. Visual-Acuity for Vertical and Diagonal Gratings in Human Infants. *Vision Res*. 1974;14(12):1433-9.
14. Teller DY. Forced-Choice Preferential Looking Procedure - Psychophysical Technique for Use with Human Infants. *Infant Behav Dev*. 1979;2(2):135-53.
15. McDonald M, Dobson V, Sebris SL, Baitch L, Varner D, Teller DY. The Acuity Card Procedure - a Rapid Test of Infant Acuity. *Invest Ophth Vis Sci*. 1985;26(8):1158-62.
16. Guiazda JB, S. Held, R. . Fast measurement of visual acuity in infants from 2 weeks to 1 year of age. Association for Research in Vision and Ophthalmology Spring Meeting; April 30-May 5; Sarasota, Florida 1978.
17. Salapatek P, Bechtold AG, Bushnell EW. Infant Visual-Acuity as a Function of Viewing Distance. *Child Dev*. 1976;47(3):860-3.
18. Courage ML, Adams RJ. Visual acuity assessment from birth to three years using the acuity card procedure: cross-sectional and longitudinal samples. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*. 1990;67(9):713-8.

19. McDonald M, Sebris SL, Mohn G, Teller DY, Dobson V. Monocular acuity in normal infants: the acuity card procedure. *Am J Optom Physiol Opt.* 1986;63(2):127-34.
20. Cornsweet TN. Staircase-Method in Psychophysics. *Am J Psychol.* 1962;75(3):485-8.
21. Chandna A, Pearson CM, Doran RML. Preferential Looking in Clinical-Practice - a Years Experience. *Eye.* 1988;2:488-95.
22. Kay H. New method of assessing visual acuity with pictures. *The British journal of ophthalmology.* 1983;67(2):131-3.
23. Adoh TO, Woodhouse JM, Oduwaiye KA. The Cardiff Test: a new visual acuity test for toddlers and children with intellectual impairment. A preliminary report. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry.* 1992;69(6):427-32.
24. Woodhouse JM, Griffiths C, Gedling A. The prevalence of ocular defects and the provision of eye care in adults with learning disabilities living in the community. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians.* 2000;20(2):79-89.
25. Hyvarinen L, Nasanen R, Laurinen P. New visual acuity test for pre-school children. *Acta ophthalmologica.* 1980;58(4):507-11.
26. França VCRM. Avaliação da Acuidade Visual de Recém-Nascidos Pequenos para a Idade Gestacional pelos Métodos do Potencial Visual Evocado de Varredura e Cartões de Acuidade de Teller. São Paulo: University of São Paulo; 2008.
27. Thorn F, Schwartz F. Effects of dioptric blur on Snellen and grating acuity. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry.* 1990;67(1):3-7.
28. Levi DM, Klein S. Differences in vernier discrimination for grating between strabismic and anisometric amblyopes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1982;23(3):398-407.
29. Quaid P, Stonier C, Cox MJ. Potential vision testing--the relationship between visual acuity and Vernier acuity in the presence of simulated cataract. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians.* 2002;22(6):469-81.

ANEXOS

ANEXO I

(Parecer da Comissão de Ética da Faculdade de Ciências da Saúde, da Universidade da Beira Interior)



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

PARECER

Processo: CE-FCS-2015-009

Tema Projecto/Proponente: *"Medição Objectiva da Acuidade Visual"* – Exmo. Senhor Prof. Doutor Pedro Miguel Nave Serra

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, 29 de Setembro de 2015

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

ANEXO II

(Consentimento informado)



Universidade da Beira Interior
Faculdade de Ciências da Saúde



Carta explicativa para obtenção do consentimento para o Estudo de recolha de Acuidades Visuais através de uma plataforma informática e comparação com Acuidades Visuais medidas com E's rotativos de Snellen

Entregar ao voluntário

Exmo. Sr.(a). vimos por este meio solicitar a vossa participação num trabalho de investigação no âmbito do mestrado de Optometria em Ciências da Visão, que tem como objetivo recolher acuidades visuais medidas através de uma plataforma informática criada pelos investigadores e em seguida analisar e comparar com as acuidades visuais retiradas através de cartas de AV de alto contraste que contêm E's rotativos de Snellen. Será também recolhida a refracção do voluntário através de um auto-refractómetro de campo aberto.

Informamos V.Exa. que a participação é voluntária, os testes a efetuar são indolores, não invasivos, e sem quaisquer complicações ou riscos e também a recolha dos dados é anónima.

Agradecemos a sua participação no estudo e informamos que poderá desistir da participação nesta investigação a qualquer altura por qualquer motivo

Não existira compensações em relação a participação no estudo, como não haverá despesas na realização dos exames.

A investigação será realizada pelo Prof. Doutor Pedro Miguel Fernandes da Nave Serra, docente do 2º ciclo de Optometria em Ciências da Visão da Faculdade de Ciências da Saúde da UBI e pelo Dr. João Miguel Oliveira Alves, licenciado em Optometria - Ciências da visão pela UBI, com o auxílio e supervisão do Prof. Doutor Paulo Torrão Fiadeiro, docente do 2º ciclo de Optometria em Ciências da Visão da Faculdade de Ciências da Saúde da UBI.

Em caso de dúvidas ou esclarecimentos sobre o projeto de investigação em curso contactar o Dr. Pedro Serra por correio electrónico (pedroserra@ubi.pt), o Dr. João Alves por correio electrónico (joao_alves14@hotmail.com) ou telefone (965 317 373), ou ainda o Prof. Doutor Paulo Fiadeiro por correio electrónico (fiadeiro@ubi.pt).



Declaração de consentimento livre e informado

Entregar ao examinador

Eu, _____, declaro ter lido e compreendido as informações deste documento, bem como os esclarecimentos que me foram fornecidos pelos investigadores do estudo. Foi-me garantida a possibilidade de, em qualquer altura, recusar participar neste estudo sem qualquer tipo de consequências. Ficou claro que a minha participação é isenta de benefícios e de despesas. Desta forma, aceito participar neste estudo e permito a utilização dos dados, com base nas garantias de confidencialidade e anonimato que me foram apresentadas pelos investigadores.

(Assinatura do responsável)

(Assinatura do voluntário)

REF:
(Preencher o Examinador)

Covilhã, ___ / ___ / _____