



Pedro Henrique Jones Petas Santos Dias

Licenciatura em Ciências de Engenharia Biomédica

**Actualização e validação da plataforma
RehabVisual:
Ferramenta para estimulação das competências
visuomotoras**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Biomédica

Orientadoras: Prof^a Doutora Carla Quintão, Professora Auxiliar,
Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNL
Prof^a Doutora Cláudia Quaresma, Professora Auxiliar,
Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNL

Júri

Presidente: José Luís Ferreira
Arguente: Miriam Costa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro, 2019

Actualização e validação da plataforma RehabVisual: Ferramenta para estimulação das competências visuomotoras

Copyright © Pedro Henrique Jones Petas Santos Dias, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Para os meus pais e irmã.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer às minhas orientadoras, professora Carla Quintão e professora Cláudia Quaresma. Obrigado por toda a ajuda e força que me deram durante estes meses. Sempre que necessitei de alguma coisa, as professoras prontamente me vinham ajudar. Queria agradecer também ao professor Ricardo Vigário, que, embora não fosse o meu orientador, sempre se mostrou disponível para me auxiliar.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer a toda a minha família, principalmente, aos meus pais e irmã. A confiança e motivação que me deram e dão foi essencial para conseguir concluir este curso.

Por último, gostaria de agradecer a todos os meus amigos por todo o apoio dado nestes últimos anos e pelas boas experiências que criámos juntos. Gostaria de agradecer especialmente ao João Prates, ao Tiago Ribeiro, à Rita Esmeraldo, ao António Gomes, ao Manuel Caferra, à Bárbara Oliveira, ao Gonçalo Lourenço, ao André Oliveira, ao Guilherme Marques, ao Francisco Figueira, ao Filipe Vinhas, ao grupo do MP e ao grupo da sueca.

RESUMO

Esta dissertação de mestrado surge no âmbito da continuação de uma outra dissertação de mestrado, na qual foi desenvolvida uma plataforma informática intitulada de *RehabVisual*. A plataforma tem como objectivo criar um tratamento individualizado para que, através de estímulos, se auxilie no desenvolvimento visuomotor de crianças até aos dois anos de idade.

Surgiu, então, a necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta de análise de vídeo, capaz de acompanhar os movimentos dos olhos dos indivíduos em estudo, com o intuito de facilitar e tornar mais objectivas as análises das reacções destes aos estímulos. A solução apresentada nesta dissertação tem como objectivo a criação de um sistema de *eyetracking* que não necessite de pré-calibração e que seja de baixo custo.

Foi também realizado um estudo, numa parceria com o Instituto Politécnico de Beja, com o objectivo de testar a plataforma anteriormente desenvolvida num novo tipo de população, constituída por indivíduos que sofreram um acidente vascular cerebral. A população deste estudo foi constituída por seis adultos que foram afectados por esta doença. Deste estudo conclui-se que a plataforma pode ajudar na reabilitação visuomotora e perceptiva destes pacientes, embora seja necessário realizar algumas alterações nos estímulos de forma a que fiquem mais adaptados a este tipo de população. Concluiu-se também, através da realização de um questionário *System Usability Scale*, que os utilizadores da plataforma classificaram-na como muito útil e de fácil utilização, tendo apenas sugerido ligeiras alterações, de forma a estar mais adaptada à população alvo.

Palavras-chave: Reabilitação de competências visuomotoras, *Eyetracker*, acidente vascular cerebral

ABSTRACT

This masters dissertation arises within the continuation of another masters dissertation, in which a platform named RehabVisual was developed. This platform has as an objective to create an individual visuomotor rehabilitation for children until two years old.

Has appeared, as a need, to develop a video analysis tool, capable of following the motion of the eyes of the patients, with the purpose of facilitating and making the analysis of their reactions to the stimuli more objective. The solution developed on this masters dissertation consists on the creation of an eyetracker system that does not need to be pre-calibrated and is low-cost.

A study was also made, in a partnership with Instituto Politécnico de Beja, with the point of testing the former developed platform within a new type of population that consisted on six patients that had a stroke. From this study, it is possible to understand that this platform might be helpful for this kind of population, in terms of their visuomotor and perception skills rehabilitation. However, some changes need to be made regarding the stimuli. It was also possible, through a System Usability Scale questionnaire, that the platform users classified it as being useful and user friendly, although some changes had to be done to adjust the platform to the targeted population.

Keywords: Rehabilitation of visuomotor skills, Eyetracker, Stroke

ÍNDICE

Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xxi
Siglas	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização e Objectivos	1
2 Fundamentos Teóricos	3
2.1 Sistema visual humano	3
2.1.1 Anatomia do sistema visual humano	3
2.1.2 Formação da imagem	5
2.1.3 Função Visual	5
2.2 Desenvolvimento da visão e competências motoras associadas	6
2.3 Causas das alterações visuomotoras e perceptíveis em crianças e adultos .	7
2.3.1 Causas para alteração do desenvolvimento do sistema visuomotor na criança	8
2.3.2 Relação entre o acidente vascular cerebral e as alterações visuais .	9
2.4 Metodologias convencionais de estimulação visuomotora e perceptivas .	10
2.4.1 Exercícios de estimulação visual em crianças	10
2.4.2 Metodologias de reabilitação aplicados a indivíduos que sofreram um AVC	11
2.5 Instrumentos de análise da atenção – Eyetracker	12
2.5.1 Exemplos de <i>software</i> e equipamento de <i>eyetracking</i>	13
2.6 Avaliação de novas ferramentas - Testes de Usabilidade	15
2.6.1 <i>System Usability Scale</i>	15
3 Plataforma <i>RehabVisual</i>	17
3.1 Estrutura da Plataforma	17
3.2 Dados Recolhidos Anteriormente	20
3.2.1 Resultados da aplicação da plataforma <i>RehabVisual</i> em bebés até aos 18 meses de idade	21

3.2.2	Resultados do teste de usabilidade aplicado aos terapeutas ocupacionais do Hospital Dona Estefânia	22
3.2.3	Limitações dos resultados obtidos anteriormente	22
4	Aplicação da plataforma a indivíduos com AVC	25
4.1	Apresentação do estudo e dos resultados obtidos pelos alunos do IPB . . .	25
4.1.1	Caracterização da amostra	26
4.1.2	Protocolo de aplicação	27
4.1.3	Resultados do estudo	27
4.2	Teste de usabilidade aplicado à equipa do IPB	28
4.2.1	Opinião geral dos utilizadores da plataforma <i>RehabVisual</i>	29
5	Desenvolvimento de um sistema de eyetracking	31
5.1	<i>Software</i> utilizado e objectivo do programa desenvolvido	31
5.2	Implementação do sistema de <i>eyetracking</i>	31
5.2.1	Marcação manual dos olhos e do ponto de referência na primeira <i>frame</i>	33
5.2.2	Detecção dos olhos nas restantes <i>frames</i>	35
5.2.3	Guardar os dados e sua apresentação	39
5.2.4	Motivos para a reintrodução manual de pontos	39
6	Resultados	41
6.1	Resultados em ambiente e protocolo de aquisição controlados	43
6.2	Resultados obtidos em ambiente controlado e sem protocolo de aquisição	49
6.2.1	Indivíduo 1	49
6.2.2	Indivíduo 2	56
6.2.3	Indivíduo 3	61
6.3	Resultados obtidos na população alvo	67
6.3.1	Criança com dois anos de idade	67
6.3.2	Criança com um ano de idade	73
7	Discussão de Resultados	79
7.1	Aplicação da plataforma a indivíduos com AVC	79
7.2	Sistema de <i>Eyetracking</i>	79
8	Conclusão	83
8.1	Considerações Gerais	83
8.2	Trabalho Futuro	84
	Bibliografia	85
I	Anexo I - Questionário SUS	89

II Anexo II - <i>Montreal Cognitive Assessment</i>, versão 7.1	91
III Anexo III - <i>Trail Making Test</i>	93

LISTA DE FIGURAS

2.1	Estrutura anatómica do olho [6]	4
2.2	Vias neuronais [6]	5
2.3	Representação de um mapa de calor [22]	13
2.4	Exemplo de uma disposição dos círculos de calibração de um <i>eyetracker</i> [25] .	14
2.5	<i>Tobii Pro X3-120</i> [26]	14
2.6	Escala para os resultados de questionários do tipo SUS [32]	16
3.1	Página inicial da plataforma após efectuado o início de sessão	18
3.2	Imagens retiradas de três vídeos de estímulos complexos [4]	19
3.3	Imagens retiradas de vídeos de estímulos complexos, de forma circular e de cor vermelha	20
3.4	Exemplo da evolução de um bebé [4]	22
5.1	Esquema do programa desenvolvido	32
5.2	Resultado final demonstrado no vídeo em análise	33
5.3	Interface que mostra os olhos na imagem binarizada e a sua detecção (assinalada com um círculo)	33
5.4	Marcação manual do olho esquerdo na primeira <i>frame</i>	34
5.5	Exemplo de uma <i>frame</i> do vídeo com o detector facial a amarelo	34
5.6	Esquema representativo da movimentação da caixa do olho	36
5.7	Processamento da imagem	37
5.8	Exemplo dos filtros de erosão e dilatação	38
6.1	Eixos da posição de um ponto numa <i>frame</i> do vídeo	42
6.2	Gráfico da variação da posição no eixo do x do olho esquerdo	44
6.3	Gráfico da variação da posição no eixo do x do olho direito	45
6.4	Gráfico da variação da posição no eixo do y do olho esquerdo	45
6.5	Gráfico da variação da posição no eixo do y do olho direito	46
6.6	Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 80	47
6.7	Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 85	47
6.8	Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 148	48
6.9	Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 85	48
6.10	Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 195	49

6.11 Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo	51
6.12 Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito	52
6.13 Gráfico da variação da posição no eixo do y do olho esquerdo	52
6.14 Gráfico da variação da posição no eixo do y do olho direito	53
6.15 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 52	53
6.16 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 171	54
6.17 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 434	55
6.18 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 768	55
6.19 Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo	57
6.20 Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito	57
6.21 Gráfico da variação da posição vertical do olho esquerdo	58
6.22 Gráfico da variação da posição vertical do olho direito	58
6.23 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 147	59
6.24 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 195	60
6.25 Imagens referentes às <i>frames</i> 228 e 295, retiradas do <i>eyetracker</i>	60
6.26 Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo	62
6.27 Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito	63
6.28 Gráfico da variação da posição vertical do olho esquerdo	63
6.29 Gráfico da variação da posição vertical do olho direito	64
6.30 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 93	65
6.31 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 165	65
6.32 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 234	66
6.33 Gráfico e imagem referentes à <i>frame</i> 495	67
6.34 Gráfico referente ao movimento horizontal do olho esquerdo de uma criança de dois anos	69
6.35 Gráfico referente ao movimento horizontal do olho direito de uma criança de dois anos	70
6.36 Representação do gráfico e imagem relativas à <i>frame</i> 950	71
6.37 Representação dos gráficos e imagem relativas à <i>frame</i> 317	72
6.38 Representação dos gráficos e imagem relativas à <i>frame</i> 374	73
6.39 Gráfico referente ao movimento em x do olho esquerdo de uma criança de um ano	74
6.40 Gráfico referente ao movimento em x do olho direito de uma criança de um ano	75
6.41 Gráfico referente ao movimento em y do olho esquerdo de uma criança de um ano	75
6.42 Gráfico referente ao movimento em y do olho direito de uma criança de um ano	76
6.43 Representação do gráfico e imagem relativas à <i>frame</i> 28	76
6.44 Representação do gráfico e imagem relativas à <i>frame</i> 50	77
6.45 Representação do gráfico e imagem relativas à <i>frame</i> 55	78
6.46 Representação do gráfico e imagem relativas à <i>frame</i> 83	78

I.1	Questionário SUS [4]	90
II.1	<i>Montreal Cognitive Assessment</i> , versão 7.1 [37]	92
III.1	<i>Trail Making Test</i> - parte A [38]	94
III.2	<i>Trail Making Test</i> - parte B [38]	95

LISTA DE TABELAS

3.1	Permissões de acesso dos utilizadores ao site. Retirado de: [4]	18
4.1	Resultados obtidos pelos alunos do IPB [5]	27
4.2	Resultados do Questionário SUS	28
4.3	Média das respostas ao questionário SUS	29

SIGLAS

AVC Acidente Vascular Cerebral.

CSS Cascading Style Sheets.

HDE Hospital Dona Estefânia.

HTML HyperText Markup Language.

IPB Instituto Politécnico de Beja.

JS Javascript.

MFR Medicina Física e de Reabilitação.

PHP HyperText Preprocessor.

SCMS Santa Casa da Misericórdia de Serpa.

SQL Structured Query Language.

SUS System Usability Scale.

ULSLA Unidade Local de Saúde do Litoral Alentejano.

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Objectivos

Segundo a Organização Mundial de Saúde, estima-se que cerca de 1,3 biliões de pessoas sofram de problemas no sistema visual. Esta organização considera também que cerca de 80% destes casos podem ser evitados através de intervenção, como cirurgias, e que a reabilitação visual é eficaz na melhoria dos problemas do sistema visual [1].

Os primeiros anos de vida de um ser humano são muito importantes para o desenvolvimento do sistema visual, porque é nesta fase que existe uma maior plasticidade cerebral. Em determinados casos, nomeadamente quando existem défices de desenvolvimento das capacidades visuomotoras, é importante que haja estimulação visual controlada e específica, de forma a estimular essa mesma plasticidade cerebral [2].

Assim, foi desenvolvida uma plataforma informática denominada por *RehabVisual* nas dissertações de mestrado das alunas Raquel Machado [3] e Catarina Santos [4], com a parceria da área de terapia ocupacional do serviço de Medicina Física e de Reabilitação (MFR) do Hospital Dona Estefânia (HDE).

Esta plataforma surgiu de uma necessidade, por parte deste serviço, no que diz respeito à avaliação e intervenção das capacidades visuomotoras em bebés com atraso no desenvolvimento.

A *RehabVisual* dispõe de um conjunto de estímulos visuais e de uma base de dados para armazenamento de informação relativa ao paciente como fichas clínicas e avaliações oftalmológica, funcional, comportamental e relativa à forma como decorreram as sessões.

Esta dissertação tem, então, como objectivo dar continuidade ao trabalho já realizado, tentando validar a plataforma numa nova população e adicionando um sistema de análise de vídeo para detecção dos olhos do indivíduo em estudo, vulgo *eyetracker*.

A população estudada anteriormente pela ex-aluna Catarina Santos foi composta

por bebés prematuros, com menos de dois anos de idade, diagnosticadas com atraso no desenvolvimento e que se encontravam a realizar reabilitação no serviço de MFR do HDE e do Departamento de Terapia Ocupacional do Centro de Reabilitação do Alcoitão.

Nesta dissertação, pretende-se validar a plataforma para um população constituída por indivíduos que sofreram um acidente vascular cerebral (AVC), com consequências para as suas capacidades visuomotoras, e que se encontravam a realizar reabilitação na Santa Casa da Misericórdia de Serpa (SCMS) ou na Unidade Local de Saúde do Litoral Alentejano (ULSLA). O estudo foi realizado por quatro alunos, de Licenciatura em Terapia Ocupacional do Instituto Politécnico de Beja (IPB), com o objectivo de aferir a usabilidade da plataforma para estes pacientes [5].

Em relação à ferramenta de análise de vídeo, foi desenvolvido nesta dissertação um programa de *eyetracking* utilizando o *Matlab 2017a*. A necessidade da sua criação advém do facto de que os sistemas de *eyetracking* gratuitos disponíveis requerem uma pré-calibração feita pelo utilizador. Como a população alvo desta ferramenta são crianças com idades inferiores a dois anos, estas não iriam conseguir realizar este processo correctamente.

Como exemplos de *eyetrackers* testados numa fase inicial menciona-se o programa *GazeRecorder*. Este *software*, quando iniciado, pede ao utilizador para que olhe para os alvos circulares exibidos no ecrã de forma a calibrar o seu sistema.

Existem também empresas que desenvolvem equipamentos de *eyetracking*, como a *Tobii*, em que envolvem equipamento físico, como barras ou óculos, que conseguem realizar uma calibração mais precisa. No entanto o seu custo é elevado.

Com isto em mente, os objectivos desta dissertação são:

- Implementar um sistema de *eyetracking* capaz de acompanhar os movimentos dos olhos do indivíduo em estudo;
- Testar a plataforma numa nova população constituída por doentes que sofreram um AVC, incluindo esta nas sessões de reabilitação;
- Recolher mais informação sobre o grau de usabilidade da plataforma por parte dos terapeutas ocupacionais.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo pretende-se explicar os conceitos considerados importantes para esta dissertação e este é dividido em sete sub-capítulos.

No sub-capítulo 2.1 é descrito o sistema visual humano, iniciando com a sua anatomia, seguida de uma secção sobre a formação da imagem e por fim a função visual.

No sub-capítulo 2.2 encontra-se exposta a evolução das capacidades visuomotoras de um indivíduo, desde o seu nascimento até aos três anos de idade.

O sub-capítulo 2.3 refere-se a doenças que podem afectar as capacidades visuomotoras, quer de crianças, quer de adultos.

No sub-capítulo 2.4 são descritos alguns exemplos de terapias convencionais utilizadas na área de reabilitação visuomotora e perceptiva.

No sub-capítulo 2.5 encontra-se a explicação de como funciona um *eyetracker* convencional e são apresentados alguns exemplos de programas e dispositivos físicos.

No sub-capítulo 2.6 são descritas algumas formas de avaliação, por parte dos utilizadores, de produtos desenvolvidos.

2.1 Sistema visual humano

A visão é um sentido de extrema importância para o ser humano. É através dela que este consegue observar o mundo que o rodeia.

2.1.1 Anatomia do sistema visual humano

O sistema visual humano é composto pelos olhos, estruturas acessórias (como as pálpebras, sobrancelhas, canais lacrimais e músculos extrínsecos), nervos ópticos, trato óptico e vias ópticas [6].

O olho, que se encontra representado na figura 2.1, pode ser dividido em três camadas:

- Camada externa ou túnica fibrosa: Esta camada é constituída pela esclera e córnea. A esclera é a região branca do olho que protege e mantém a forma do mesmo. É constituída por tecido conjuntivo e por fibras elásticas. Os músculos extraoculares, que permitem o movimento do olho, são inseridos nesta estrutura. A córnea é uma estrutura avascular transparente que permite a entrada de luz no olho, refratando esses mesmos feixes de luz [6].
- Camada intermédia ou túnica vascular: Esta camada é constituída pela coroide, corpo ciliar e íris. A coroide é responsável pela irrigação da esclera. O corpo ciliar tem uma forma circular e liga-se à lente, ou cristalino, através de ligamentos suspensivos. O cristalino é uma estrutura biconvexa e transparente. Através da contracção dos músculos ciliares é possível alterar a forma da lente. A íris é a parte colorida do olho e engloba a pupila, sendo capaz de controlar o tamanho desta. Como a luz que entra no olho passa pela pupila, a íris é responsável por determinar a quantidade de luz que chega à retina [6].
- Camada interna ou túnica nervosa: Esta camada é constituída pela retina. A retina encontra-se dividida em duas partes: uma parte exterior muito pigmentada com melanina e uma parte interior que contém milhões de células foto-receptoras denominadas por cones e bastonetes. Os cones são responsáveis pela visão a cores e pela acuidade visual. Os bastonetes são responsáveis pela visão em condições de baixa luminosidade [6].

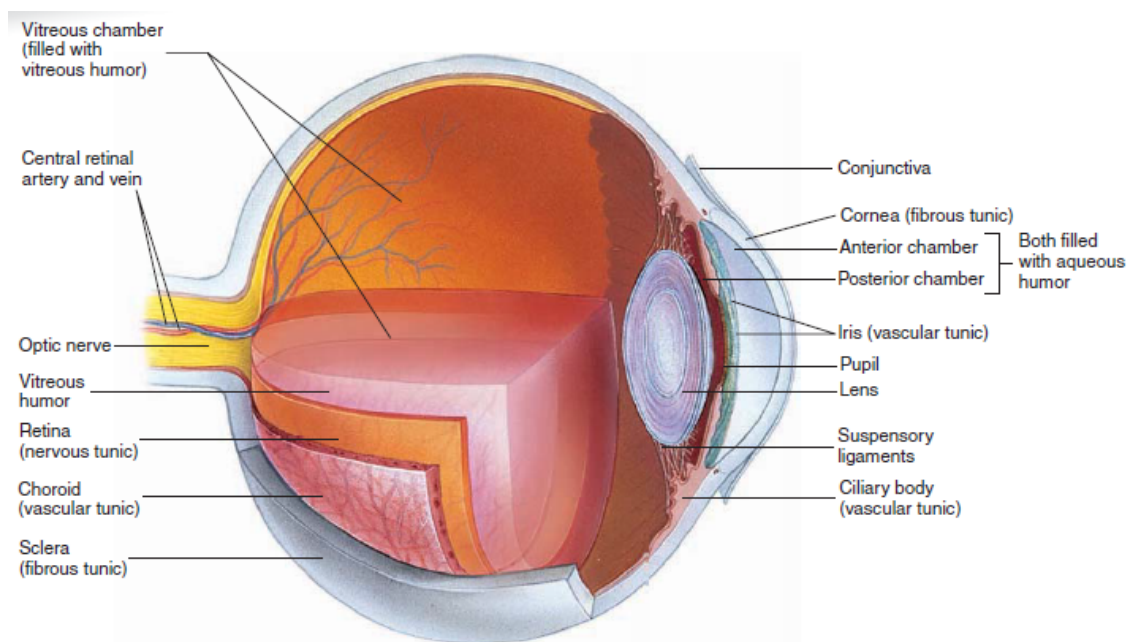


Figura 2.1: Estrutura anatómica do olho [6]

2.1.2 Formação da imagem

Em relação à formação da imagem, este processo começa com a chegada de luz ao olho. A córnea, a lente e os humores do olho, através da refração, garantem que os feixes de luz convergem para a retina. A pupila vai determinar a quantidade de luz que chega a esta [6].

Quando os feixes de luz atingem a retina, estes vão estimular os cones e os bastonetes, criando um impulso eléctrico. Este potencial de acção vai ser transmitido para o córtex visual, localizado na região occipital do cérebro, através dos nervos ópticos, do trato óptico, do núcleo geniculado lateral e da radiação óptica, tal como se encontra representado na figura 2.2 [6].

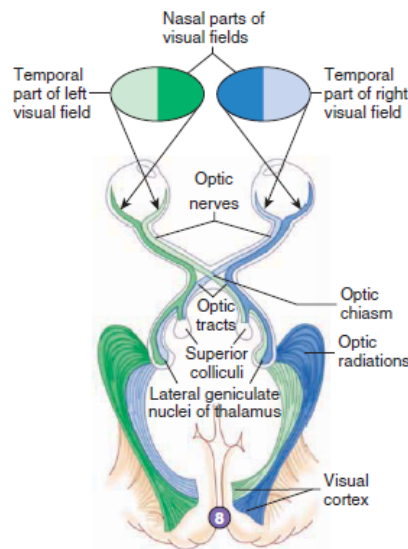


Figura 2.2: Vias neuronais [6]

2.1.3 Função Visual

A função visual é definida como a capacidade que um indivíduo tem em reconhecer e interpretar o que o rodeia. Pode ser avaliada segundo vários parâmetros que podem ser quantificados através de exames oftalmológicos [7]. Estes são a acuidade visual, o campo visual, a percepção de cores, a sensibilidade ao contraste, a estereopsia (visão em profundidade), a adaptação à redução da luminosidade, a mobilidade ocular e a acomodação [7] [8]:

- A acuidade visual é a capacidade do olho em focar uma imagem na retina [6]. Uma má acuidade visual leva a uma visualização menos detalhada dos objectos [8].
- O campo visual é definido como a área observável por um indivíduo quando os seus olhos se encontram estáticos. Uma redução do campo visual implica uma menor área observada em seu redor [8].

- Percepção de cores, tal como o nome indica, está relacionada com a capacidade de um indivíduo em distinguir cores. Uma alteração desta percepção acarreta uma não distinção de determinadas cores [8].
- A sensibilidade ao contraste é definida como a capacidade de distinguir claro do escuro. Uma baixa sensibilidade ao contraste leva a que os objectos fiquem desvanecidos [8].
- A estereopsia corresponde à capacidade de juntar as duas imagens de cada olho, de forma a criar apenas uma, tornando-se possível obter uma noção da profundidade a que os objectos se encontram [8].
- A adaptação à redução da luminosidade, tal como o nome indica, está relacionada com a capacidade dos olhos em se ajustarem quando a luminosidade é baixa [8].
- A mobilidade ocular, tal como o conceito indica, é uma capacidade relacionada com o movimento dos olhos, de forma a ser possível acompanhar objectos [8].
- A acomodação está relacionada com a capacidade de se alterar o foco entre um objecto que está longe e um que se encontra perto, e vice-versa [8].

2.2 Desenvolvimento da visão e competências motoras associadas

O desenvolvimento da visão começa antes do nascimento do bebé e quando este nasce, o sistema visual ainda não se encontra totalmente desenvolvido. Em relação ao tamanho dos olhos, estes atingem o seu tamanho máximo aos 3 anos de idade [2].

Caso o bebé nasça prematuramente, o sistema visual não vai estar totalmente desenvolvido. As pálpebras podem não se encontrar totalmente separadas e este não vai ser capaz de regular a quantidade de luz que entra no olho, pois a íris ainda não é capaz de se contrair e dilatar correctamente [2], [9].

Caso o bebé nasça no período normal, ou seja, após nove meses de gestação, o sistema visual continua a não estar totalmente desenvolvido. As pupilas ainda não dilatam na totalidade e a retina ainda não está totalmente desenvolvida. Este vai apresentar dificuldades em fixar objectos e discriminar cores. Para além disto, possui um campo visual limitado e uma baixa acuidade visual [2], [9].

Um mês após o seu nascimento, o bebé já começa a seguir caras e objectos pretos e brancos, como por exemplo, um tabuleiro de xadrez. Reage a estímulos de luz, piscando os olhos. Continua a apresentar uma baixa acuidade visual e os movimentos oculares são, por vezes, descoordenados [2].

Quando o bebé tem dois meses, este começa a fixar esporadicamente o que se encontra muito perto de si. Começa a detectar cores como o vermelho e o amarelo e tem mais interesse nos movimentos verticais [2].

No mês seguinte, o bebé começa a apresentar uma boa coordenação ocular e continua a estar interessado apenas em objectos pretos, brancos, vermelhos e amarelos. No entanto, adquire curiosidade por tamanhos mais pequenos. É nesta fase que principia o interesse por caras e a procura visual por objectos que lhe despertem a atenção. Inicia também a associação entre acções e objectos [2], [9].

Aos quatro meses de vida, começa a ganhar interesse pelas suas próprias mãos e começa a reagir quando reconhece caras. Começa a ganhar a capacidade de seguir movimentos horizontais, verticais e circulares [2].

Quando atinge os cinco meses, a sua coordenação entre os olhos e as mãos melhora, sendo capaz de observar os objectos que lá se encontram. Começa também a ganhar consciência do ambiente que o rodeia, mas num curto raio de visão [2].

No mês seguinte, o bebé começa a conseguir observar os objectos a uma maior distância e a sua acuidade visual melhora. Já consegue agarrar nos mesmos, de forma a os poder observar. Desperta o seu interesse pelos objectos que caem, ficando a fixar o local onde este se encontrava antes de cair [2].

Entre os seis e os nove meses a sua acuidade visual fica normalmente perto do máximo e começa a adquirir interesse por padrões geométricos. Obtém também a capacidade de passar objectos de uma mão para a outra [2].

Dos nove meses até um ano de idade, o bebé começa a tentar imitar as expressões que observa nas caras das pessoas que o rodeiam. Consegue perceber se conhece a pessoa que está a observar ou não. Fica à procura de um objecto quando este é escondido [2].

Quando atinge um ano de idade, adquire a capacidade de focar, de olhar em profundidade e de acomodação. Consegue distinguir formas geométricas simples como círculos, triângulos e quadrados. Possui um ângulo de visão de, aproximadamente, 180° [2].

Aos dois anos, a mielinização do nervo óptico está completa. As competências visuomotoras já se encontram num nível normal e a criança já consegue imitar movimentos [2].

Quando atinge três anos de idade, a retina já se encontra totalmente desenvolvida. A criança já executa tarefas como resolver puzzles simples e desenhar círculos [2].

2.3 Causas das alterações visuomotoras e perceptíveis em crianças e adultos

Segundo a Associação Americana de Optometria, a deficiência visual é definida como uma limitação funcional dos olhos ou do sistema visual. É caracterizada, por exemplo, por perda de acuidade visual, do campo de visão e por dificuldades na percepção visual ou mobilidade ocular. Esta deficiência resulta de defeitos congénitos, hereditários ou adquiridos [10].

Existem várias doenças que podem afectar o sistema visual e uma grande parte aparece depois do primeiro ano de vida do ser humano [2].

Considera-se como patologia do sistema visual uma doença que afecte a quantidade de luz que entra pelo olho, o foco de luz na retina, alterações nos fotorreceptores, a transmissão de informação através do nervo óptico e das vias ópticas, a recepção e interpretação da informação visual por parte do cérebro ou a resposta do olho e músculos extraoculares de forma a existir fixação do alvo [8].

2.3.1 Causas para alteração do desenvolvimento do sistema visuomotor na criança

Existem várias doenças que podem afectar o normal desenvolvimento do sistema visuomotor de uma criança. Alguns exemplos destas são os erros refractivos, a retinopatia de prematuridade, os problemas relacionados com os músculos oculares e as malformações ou as lesões do nervo óptico [2].

Os erros refractivos podem ser divididos em miopia, hipermetropia e astigmatismo. A miopia é caracterizada pela dificuldade em ver objectos que se encontram longe, a hipermetropia define-se pela dificuldade em ver objectos que se encontram perto e o astigmatismo é caracterizado pelas alterações no foco. Estes três problemas são normalmente resolvidos pelo uso de óculos [2], [6].

A retinopatia de prematuridade, como o nome indica, é normalmente detectada em bebés prematuros. Relativamente à função visual, a acuidade visual pode ir desde níveis normais até à cegueira, dependendo da evolução da doença [2].

Relativamente aos músculos oculares, a doença mais comum é o estrabismo. Esta patologia traduz-se em pelo menos um olho desalinhado da sua posição normal. Quanto mais cedo for detectada, melhores serão os resultados. O tratamento pode ser feito antes do primeiro ano de idade [2].

As lesões do nervo óptico ocorrem quando este não está a funcionar dentro da normalidade. Estas lesões não conseguem ser detectadas exteriormente e levam a uma menor acuidade visual [2].

Caso uma criança sofra de alguma destas patologias, esta poderá apresentar atraso no seu desenvolvimento, pois é através da visão que uma criança começa a ter contacto com o ambiente que a rodeia. São de destacar os atrasos no desenvolvimento motor, cognitivo e social [8].

O desenvolvimento motor é o mais afectado quando uma criança apresenta uma baixa acuidade visual, pois estão intimamente ligados. Para que uma criança alcance um objecto ou uma pessoa, esta necessita de o conseguir ver [8].

Em relação ao desenvolvimento cognitivo, a criança poderá apresentar dificuldades em associar objectos e acções [8].

O desenvolvimento social de um bebé é também afectado pela existência de alguma deficiência visual. Este tende a demonstrar dificuldades em comunicar porque pode não reconhecer caras, expressões faciais ou gestos. Crianças que sofram de cegueira podem

ainda apresentar dificuldades de ligação com os seus pais, pois não conseguem distingui-los das outras pessoas [8].

2.3.2 Relação entre o acidente vascular cerebral e as alterações visuais

Um outro grupo de doentes que costuma estar associado a alterações do sistema visual são os pacientes que sofreram um acidente vascular cerebral (AVC).

O AVC é um défice neurológico resultante de uma lesão focal aguda do sistema nervoso central, de causa vascular, sendo considerada uma das maiores causas de incapacidade e morte em todo o mundo [11].

Em grande parte dos casos de AVC, é possível diagnosticar algum tipo de deficiência visual [12]. Os tipos de deficiência visual, que surgem após um AVC, podem ser divididos em [13]:

- Alteração da acuidade visual;
- Alteração do campo de visão;
- Alteração da mobilidade ocular;
- Alteração da percepção visual.

A alteração da acuidade visual deve ser o primeiro problema a ser testado, pois uma baixa acuidade visual irá dificultar a reabilitação [14].

Relativamente às alterações do campo de visão, estas dependem do local onde ocorreu o AVC. As alterações podem ir até à perda de metade do campo de visão de cada olho, ou podem implicar uma perda parcial da visão central [13] [15]. Um indivíduo que possua um campo de visão reduzido, poderá sofrer de vertigens e de perdas de equilíbrio [13].

As alterações na mobilidade ocular ocorrem quando determinados nervos do crânio são afectados pelo AVC [14]. Dependendo do nervo que foi afectado, o olho pode ficar com movimentos limitados ou até mesmo estático [13]. Estas alterações causam problemas na coordenação olho-mão e na capacidade de leitura [14]. Em termos de reabilitação, é possível recuperar os movimentos oculares caso estes tenham sido afectados, através de intervenções adequadas [13].

As alterações da percepção visual estão relacionadas com uma tendência do indivíduo em ignorar objectos de um lado do campo visual. Este problema é diferente da perda de campo visual porque neste caso, mesmo que o indivíduo rode a cabeça, este vai continuar a não detectar o objecto. A recuperação desta condição é muito complicada e normalmente a reabilitação é feita no sentido de tentar fazer com que o paciente ganhe consciência desta [13].

2.4 Metodologias convencionais de estimulação visuomotora e perceptivas

Neste sub-capítulo são descritas algumas técnicas convencionais de recuperação da capacidade visuomotora e perceptiva.

Quando uma doença leva ao surgimento de uma deficiência visual, cabe aos terapeutas ocupacionais, a reabilitação visuomotora e perceptiva dos pacientes, de forma a reduzir, ou até mesmo eliminar, a influência desta deficiência.

Uma criança que sofra de um problema visual tem uma maior probabilidade de apresentar problemas no seu processo de desenvolvimento e aprendizagem. As primeiras 68 semanas de vida de um recém-nascido são cruciais para a estimulação da retina e é nesta altura que o ser humano apresenta uma maior plasticidade cerebral. Assim, a estimulação visual deve ser feita nos dois primeiros anos de vida do bebé [2].

Um estímulo visual deve ter em consideração os seguintes aspectos: brilho, forma, cor, contraste, complexidade e movimento [16]. Através da conjugação destes factores torna-se possível criar vários estímulos que podem variar no seu grau de complexidade.

Com o uso destes estímulos pretende-se melhorar as capacidades de detecção, fixação e perseguição da criança. Cada estímulo deve ser adaptado ao grau de deficiência visual do doente [16].

Numa fase inicial devem ser usados apenas estímulos pretos e brancos, como por exemplo um tabuleiro de xadrez, de forma a que a criança ganhe noção dos contornos e da transição entre estas duas cores [17].

Caso a criança reaja bem a estes estímulos, deve-se aumentar o grau de complexidade diminuindo o tamanho das figuras que constituem o padrão e alterando as cores dessas mesmas figuras. As cores que devem ser utilizadas nos primeiros anos de vida são o vermelho, o amarelo, o azul e o verde. Recomenda-se que as sessões de estimulação sejam frequentes para que se observem melhores resultados [16].

Relativamente ao pacientes que sofreram um AVC, não existe uma terapêutica específica para a recuperação da visão, através da estimulação visual, nos doentes que sofreram desta doença. Assim, os métodos normalmente utilizados para pacientes que não tenham sofrido de AVC, mas que apresentem deficiências visuais, podem ser aplicados neste tipo de população [13].

2.4.1 Exercícios de estimulação visual em crianças

Os exercícios de reabilitação visual usados nos hospitais têm por base o que foi mencionado no início deste sub-capítulo. São utilizados brinquedos pretos e brancos, coloridos e por vezes iluminados. Utilizam-se também lanternas com filtros de cor e espelhos [8]. Seguem-se alguns exemplos de actividades praticadas nestes locais e alguns dos utensílios usados:

- Aproximação facial: Neste exercício, o terapeuta ou o familiar segura o bebé acima da sua cabeça com os braços estendidos. Ocorre uma aproximação lenta da cara de ambos, seguida de um afastamento também lento. É sempre mantido o contacto visual entre os dois. Com esta actividade pretende-se desenvolver o movimento de convergência dos olhos do bebé [18].
- Treino dos movimentos sacádicos oculares: Nesta actividade, o bebé encontra-se sentado à frente da pessoa com a qual vai realizar o exercício. Inicia-se a mesma, agarrando num brinquedo com uma cor forte, colocando-o na visão periférica do bebé, de forma a que este consiga alcançá-lo. Após a detecção, esconde-se o brinquedo e coloca-se outro no lado oposto ao utilizado anteriormente. Com esta actividade pretende-se desenvolver os movimentos sacádicos que são extremamente importantes, por exemplo, para a capacidade de leitura [18]. Estes movimentos são caracterizados por uma rápida mudança da posição dos olhos, de forma a ser possível detectar algo que tenha surgido repentinamente no campo de visão do indivíduo. Estes movimentos rápidos também podem surgir quando o indivíduo se encontra a estudar o ambiente que o rodeia [19].
- Movimento de um espelho: Esta terapêutica tem como objectivo desenvolver a capacidade de acompanhamento visual da criança sem movimentos da cabeça. É utilizado um espelho, colocado a um metro de distância, com, pelo menos, 15cm de largura e 15cm de altura. Por vezes coloca-se um autocolante colorido de forma a captar a atenção e para que a criança vá alterando o foco entre o seu próprio reflexo e o espelho. Quando o terapeuta se apercebe que o bebé já reparou no seu próprio reflexo, este move o espelho horizontalmente, verticalmente, ou de forma circular, com movimentos suaves e lentos. Além do espelho, podem ser utilizados padrões xadrez com alto contraste para se estimular a detecção de linhas de transição entre cores [18].

2.4.2 Metodologias de reabilitação aplicados a indivíduos que sofreram um AVC

As metodologias de reabilitação podem ser divididas consoante a deficiência visual provocada pelo AVC.

Caso o paciente apresente perda do campo de visão, esta pode ser atenuada através da utilização de prismas inseridos nas lentes dos óculos, juntamente com correcções da posição da cabeça. São também realizados exercícios, como a sopa de letras, com o intuito de que o paciente se adapte à perda do campo de visão [15].

Se o paciente apresentar alterações na mobilidade ocular, esta deficiência também pode ser aliviada com o recurso a prismas. O prisma tem como objectivo corrigir a posição desalinhada do olho, mostrando o objecto que está a ser observado na posição correcta. Caso o desalinhamento seja elevado, uma das técnicas utilizadas, é a utilização de uma

pala opaca no olho afectado. Um dos exercícios realizados por estes pacientes são os exercícios de convergência, que consistem, por exemplo, na aproximação de um objecto, seguida do seu afastamento[15].

Relativamente às alterações da acuidade visual, normalmente são atenuadas através da utilização de óculos graduados, ou, caso os óculos não sejam suficientes, recorre-se também à utilização de lupas no dia-a-dia [15].

Se o paciente apresentar alterações de percepção visual, para além da utilização de utensílios auxiliares de visão como prismas, este realizará exercícios de reabilitação perceptual [15]. Um exemplo deste tipo de exercícios é a utilização de um espelho, colocado em cima de uma mesa e perpendicular à barriga do paciente. O espelho fica virado para o lado afectado do indivíduo, de forma a que este tente agarrar o objecto que se encontra à sua frente [20]. Existem indícios de que a utilização de computadores e de realidade virtual na reabilitação ajudam na melhoria da percepção visual [21].

2.5 Instrumentos de análise da atenção – Eyetracker

Os métodos de localização da posição do olho já existem desde o século XX.

A primeira técnica desenvolvida consiste na utilização de uma lente de contacto que contém uma pequena bobina. O movimento do olho é medido através das variações do campo magnético causado pela bobina da lente. Embora seja um método invasivo, tem uma excelente precisão [22], [23].

A segunda técnica desenvolvida é denominada por eletro-oculografia. Traduz-se na colocação de eléctrodos na pele, perto dos olhos, de forma a serem detectadas diferenças de potencial eléctrico. Tem a principal desvantagem de só poder ser usada em locais específicos como hospitais [22], [23].

Com o desenvolvimento da tecnologia tornou-se possível utilizar câmaras de vídeo para a detecção da atenção visual. Assim, criou-se um método não invasivo e que não necessita de ser utilizado em locais especializados.

A informação da posição dos olhos pode ser feita de duas formas: utilizando luz ambiente ou através de luz infravermelha. A primeira baseia-se no contraste existente entre a íris e a esclera e considera que a pupila se localiza no centro desta. Apresenta como grande desvantagem a potencial variação da luz ambiente que pode ocorrer durante a recolha de dados. A segunda, por sua vez, não apresenta esta desvantagem e como a luz infravermelha não é detectada pelo ser humano, este não vai ser distraído pela sua incidência. Normalmente utiliza-se uma luz infravermelha na gama dos 800nm que é quase invisível para o olho, mas é detectada pelas câmaras [22], [24].

Os métodos mais comuns para a detecção da direcção do olhar são o seguimento do centro da pupila através do método de luz ambiente ou da diferença vectorial entre o centro da pupila e a reflexão da córnea, sendo que esta resulta da incidência da luz infravermelha no olho e normalmente considera-se o reflexo na superfície externa da córnea [22].

Para que uma determinada posição do olho corresponda a um ponto no ecrã é necessário realizar uma calibração. Para isso, são apresentados alguns estímulos ao utilizador de forma a que este os siga. Através de funções matemáticas, a informação recolhida permite fazer a correspondência entre o olhar e os diversos pontos de foco no ecrã [22].

Através de um sistema de *eyetracking* é possível recolher informação acerca da fixação e dos movimentos oculares sacádicos. A fixação é caracterizada pelo tempo de início, duração, localização espacial (x,y) e dispersão espacial. Os movimentos sacádicos são caracterizados pela duração, amplitude, velocidade e aceleração [22].

A informação recolhida é normalmente disposta sobre a forma de mapa de calor, ou seja, vai ser atribuída uma cor a uma determinada intensidade. Essa intensidade está relacionada com o número de vezes e duração do foco do indivíduo num determinado ponto do ecrã. Na figura 2.3 encontra-se representado um exemplo de uma imagem observada por um indivíduo, com o respectivo mapa de calor, obtido através dos dados recolhidos por um *eyetracker* [22].

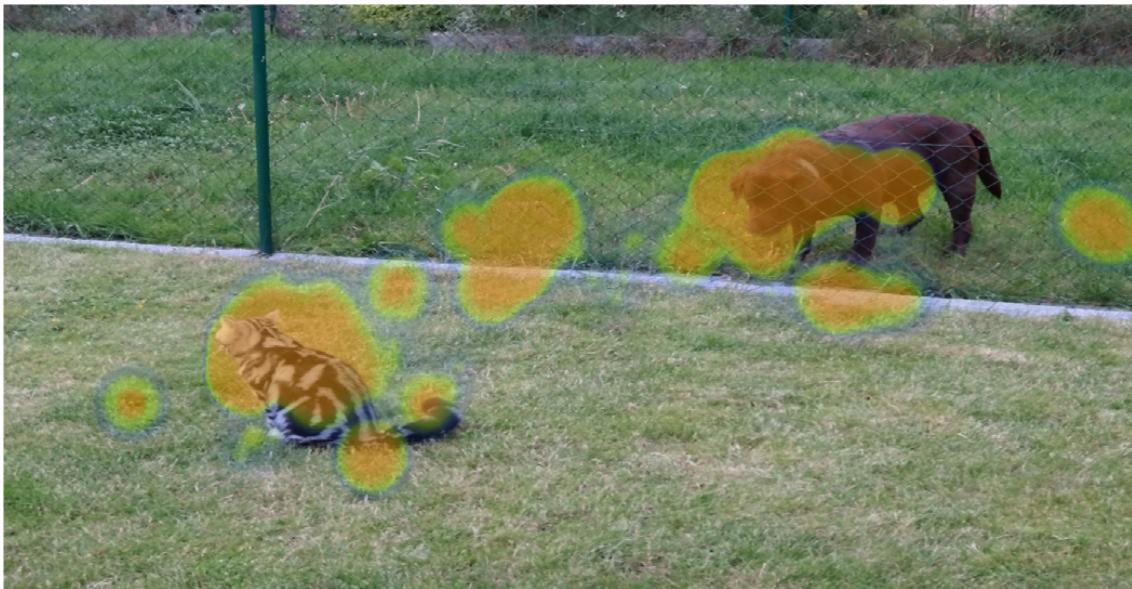


Figura 2.3: Representação de um mapa de calor [22]

2.5.1 Exemplos de *software* e equipamento de *eyetracking*

Existem alguns programas de *eyetracking* que podem ser obtidos *online* e de forma gratuita como o WebGazer [24], o PyGaze, o GazeRecorder e o IntelliGaze. Estes programas necessitam apenas da câmara normal de um portátil, não necessitando utilização de luz infravermelha. É possível que isto acarrete algumas desvantagens como erros de precisão, relacionados com pequenos movimentos da cabeça e variações na iluminação ambiente.

O método de calibração mais comum de um *eyetracker* é a utilização de círculos que vão aparecendo sequencialmente no ecrã. O número de círculos pode variar, sendo que quanto mais forem utilizados, maior será a precisão do *eyetracker*. A sequência mais comum utiliza cinco círculos e consiste num círculo no centro do ecrã, seguido de um no

canto superior esquerdo, seguido de um no canto superior direito, seguido de um no canto inferior esquerdo e finalizando com um no canto inferior direito. Cada círculo é disposto no ecrã durante cerca de um segundo. Na figura 2.4 está representada uma disposição de cinco círculos de calibração e as suas posições no ecrã.

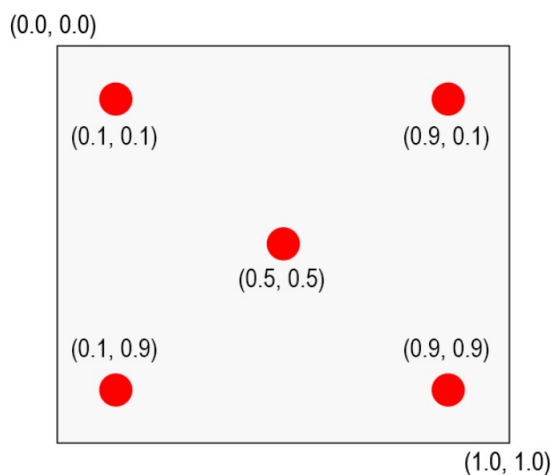


Figura 2.4: Exemplo de uma disposição dos círculos de calibração de um *eyetracker* [25]

Como a população alvo são crianças com menos de dois anos, será difícil manter a sua atenção direccionada para os círculos de calibração que aparecem no ecrã.

Outro método de calibração é utilizado no programa *WebGazer*. Neste *software* a calibração é feita ao longo da gravação do vídeo, relacionando a posição do cursor do computador com a posição dos olhos do indivíduo que o está a controlar [24]. Este método não iria funcionar para o objectivo desta dissertação porque, nestas idades, as crianças não conseguem executar esta tarefa.

Um exemplo de um equipamento físico utilizado para a realização de *eyetracking* é o *Tobii Pro X3-120*, representado na figura 2.5.

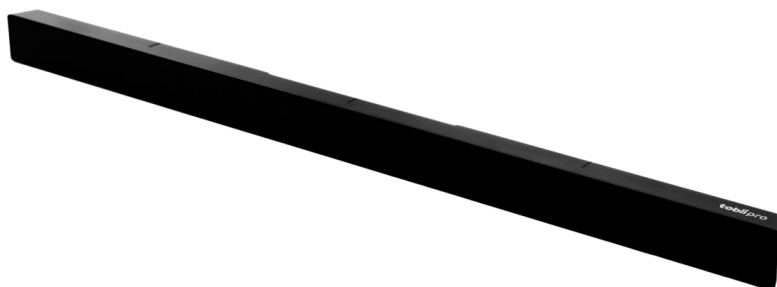


Figura 2.5: *Tobii Pro X3-120* [26]

Este equipamento é colado à parte inferior do ecrã e possui uma grande exactidão, precisão e estabilidade, permitindo também movimentos amplos da cabeça do indivíduo

em estudo [26]. No entanto, o seu preço encontra-se acima dos 10.000 \$ [27].

2.6 Avaliação de novas ferramentas - Testes de Usabilidade

Com a criação de novas ferramentas, torna-se necessário que estas sejam avaliadas por utilizadores representativos do público alvo a que estas se destinam. Desta forma, existem vários tipos de questionários que podem ser aplicados, com o intuito de se obter o grau de usabilidade de uma nova ferramenta.

A usabilidade é definida pelo *Internacional Organization for Standardization* (9241-11) como "a extensão até que um produto pode ser usado por utilizadores específicos para atingir objectivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação num contexto específico de utilização"[28]. O termo eficácia reside na capacidade de uma pessoa completar as suas tarefas e cumprir com os seus objectivos [29]. Eficiência é definida como a quantidade de recursos utilizados para atingir os objectivos [29]. Satisfação é definida como o grau de contentamento que o utilizador demonstra ao atingir os objectivos [29]. Os testes de usabilidade são usados, então, para avaliar estes parâmetros, sendo que o principal corresponde à satisfação.

2.6.1 *System Usability Scale*

Um exemplo destes tipos de questionário é o *System Usability Scale* (SUS). O SUS foi criado por John Brooke com o objectivo de se conseguir obter, de forma rápida, um valor relativo à opinião subjectiva dos indivíduos que utilizaram a ferramenta [29]. Este inquérito destina-se a vários tipos de plataformas tecnológicas como *websites*, telemóveis e aplicações para televisão [30]. Apresenta como vantagens [30]:

- o seu preenchimento rápido, pois é constituído apenas por dez questões;
- o seu método rápido de obter os resultados;
- o facto de ser não-proprietário, ou seja, não implica custos;
- não ser direccionado para uma determinada tecnologia, o que permite uma variedade de plataformas a serem estudadas.

O questionário é constituído por dez questões, sendo que as ímpares (1, 3, 5, 7, 9) têm uma conotação positiva e as pares (2, 4, 6, 8, 10) têm uma conotação negativa (ver anexo I) [29].

Os valores de resposta possíveis encontram-se distribuídos numa escala de cinco valores, sendo que o maior valor corresponde a "Concordo Fortemente" e o menor valor corresponde a "Discordo Fortemente"[30]. Se for considerada, por exemplo, uma escala de 1 a 5, 1 será o valor mínimo e 5 o valor máximo.

O resultado do questionário é obtido realizando os passos mencionados na lista abaixo [29].

- Nas perguntas ímpares, subtrai-se um ao valor da resposta;
- Nas perguntas pares, subtrai-se ao número cinco o valor da resposta;
- Somam-se os valores obtidos nos passos anteriores;
- Multiplica-se o total por 2,5.

Após a realização destes cálculos, o valor obtido irá estar compreendido entre 0 e 100, sendo que 100 é a pontuação máxima. No entanto, este valor não corresponde a uma percentagem. Apenas se muda para esta escala por ser mais fácil de interpretar os resultados [29]. Um resultado final superior a 68 equivale a um produto acima da média [31]. Na figura 2.6 encontra-se representada a escala de avaliação do resultado do questionário.

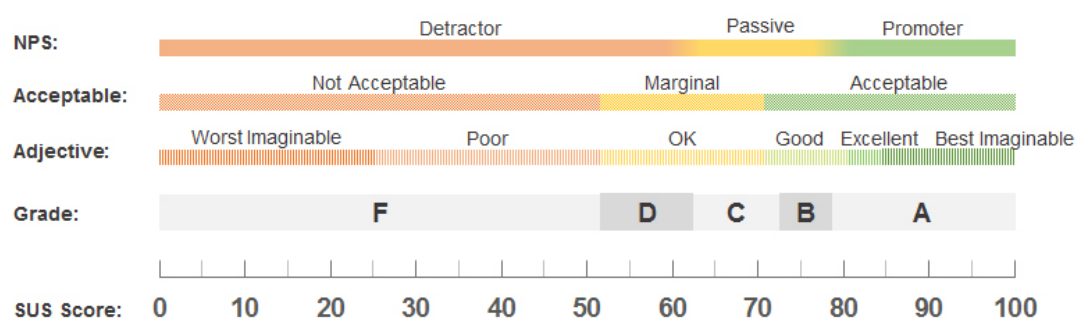


Figura 2.6: Escala para os resultados de questionários do tipo SUS [32]

A nota F é atribuída caso o resultado se encontre entre 0 e 51.6, enquanto que a nota D está associada ao intervalo entre 51.7 e 62.6. Ambas as notas são negativas. A nota C encontra-se entre 62.7 e 72.5. A nota B, por sua vez, encontra-se entre 72.6 e 78.8 e, por fim, a nota A pertence ao intervalo entre 78.9 e 100 [33].

O SUS apresenta resultados fiáveis, mesmo quando aplicado a pequenas populações, sendo que o número mínimo aconselhado são cinco pessoas [34]. Estes resultados são semelhantes aos de inquéritos mais extensos, como o *Software Usability Measurement Inventory* (SUMI) e o *Website Analysis and Measurement Inventory* (WAMMI). Relativamente a pequenas populações, o SUS apresenta melhores resultados que os questionários *Computer System Usability Questionnaire* (CSUQ) e *Questionnaire for User Interface Satisfaction* (QUIS) [29].

Através de um estudo, foi possível verificar que o resultado do SUS diminui com o aumento da idade, mas não é influenciado pelo género [30].

No entanto, o SUS não realiza um diagnóstico da ferramenta, ou seja, a resposta ao inquérito não devolve o que está correcto e errado nesta [29].

PLATAFORMA *RehabVisual*

Neste capítulo, pretende-se apresentar a plataforma *RehabVisual* desenvolvida inicialmente na dissertação de mestrado da ex-aluna Raquel Machado [3] e finalizada na dissertação de mestrado da ex-aluna Catarina Santos [4]. As duas dissertações contaram com uma parceria do serviço de Medicina Física e de Reabilitação do Hospital Dona Estefânia.

Este capítulo encontra-se dividido em duas partes. O primeiro sub-capítulo, 3.1, refere-se à estrutura da plataforma e quais as suas funções. No segundo sub-capítulo, 3.2, são apresentados os dados recolhidos pela ex-aluna Catarina Santos, com o intuito de validar a plataforma numa população constituída por crianças com menos de dois anos de idade e também os resultados do questionário SUS realizado pelos terapeutas ocupacionais que aplicaram a plataforma.

3.1 Estrutura da Plataforma

A *RehabVisual* tem como principal objectivo a criação de um tratamento individualizado para que, através de estímulos, se ajude no desenvolvimento visuomotor de crianças até aos dois anos de idade [4].

Foram utilizadas várias linguagens de programação como o *Hypertext Markup Language* (HTML), o *Cascading Style Sheets* (CSS), o *JavaScript* (JS), o *Hypertext Preprocessor* (PHP) e o *Structured Query Language* (SQL). As duas primeiras foram utilizadas para a estruturação do site em si e para o tornar esteticamente mais apelativo. O JS foi utilizado para tornar o site mais dinâmico e o PHP foi usado para que exista uma comunicação com o servidor. Por último, o SQL foi utilizado para a criação da base de dados [4].

Na figura 3.1, encontra-se a página acedida quando a sessão é iniciada por um administrador da plataforma.



Figura 3.1: Página inicial da plataforma após efectuado o início de sessão

A plataforma aceita diferentes tipos de utilizadores e cada um tem diferentes restrições em relação ao que pode aceder no *website*, tal como se encontra explicado na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Permissões de acesso dos utilizadores ao site. Retirado de: [4]

	Administrador	Médico/Técnico	Terapeuta Ocupacional	Prestador de Cuidados
Página Inicial				
Consultar Informação sobre:				
Competências Visuomotoras	x	x	x	x
O projecto	x	x	x	x
Utilizadores				
Adicionar	x	x	x	
Consultar	x	x	x	
Editar	x	x	x	
Remover	x	x	x	
Ficha Clínica do Paciente				
Adicionar	x	x	x	
Consultar	x	x	x	
Editar	x	x	x	
Avaliação Oftalmológica Geral				
Adicionar	x	x		
Consultar	x	x	x	
Editar	x	x		
Avaliação Funcional				
Adicionar	x		x	
Consultar	x	x	x	
Editar	x		x	
Programa de Intervenção				
Começar Sessão	x		x	
Consultar Sessão	x	x	x	
Editar Sessão	x		x	
Ver Programas Criados	x	x	x	
Ver Exemplos de Programas	x	x	x	x

A utilização de uma base de dados permite que todos os dados relativos ao paciente possam ser acedidos quer pelos médicos oftalmologistas quer pelos terapeutas. Assim, esta plataforma permite uma melhor troca de informação entre estes serviços do hospital.

Um paciente tem associado a si uma ficha clínica, uma avaliação oftalmológica, feita pelo oftalmologista, e uma avaliação funcional, feita pelo terapeuta ocupacional [4].

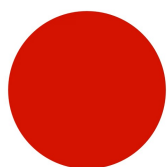
Os estímulos utilizados nesta plataforma encontram-se sob o formato de vídeo e foram desenvolvidos em *PowerPoint* [4].

Antes da selecção do tipo de estímulo que se pretende, é necessário escolher a cor pretendida. As hipóteses de escolha são preto e branco, vermelho, azul, amarelo e verde [4].

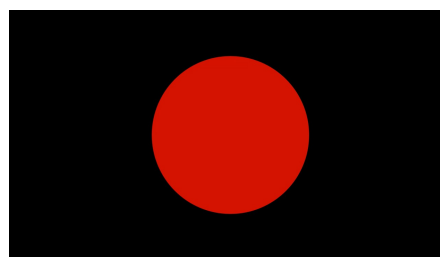
Na plataforma estão disponíveis os seguintes tipos de estímulos: figuras simples, figuras com padrão e figuras com movimento. Cada estímulo permite seleccionar a forma geométrica pretendida (quadrado, círculo, triângulo e misto) [4].

Nas figuras simples, o vídeo inicia com um fundo em branco e passado um segundo, aparece uma figura de 12cm. Após um segundo, a figura desaparece e o fundo passa a preto. Um segundo depois, aparece novamente a figura. Esta vai diminuindo de dimensão ao longo do vídeo [4].

Na figura 3.2, é possível observar um exemplo de duas imagens retiradas do vídeo do estímulo simples, de forma geométrica circular e de cor vermelha. Na figura 3.2a o fundo é branco, ocorrendo a transição para o fundo preto, figura 3.2b, como foi explicado anteriormente.



a Fundo branco



b Fundo preto

Figura 3.2: Imagens retiradas de três vídeos de estímulos complexos [4]

As figuras com padrão, podem ser divididas em três níveis de complexidade: médio, elevado e muito elevado. Quanto mais complexo é o padrão, menor o tempo de estimulação. Este tipo de estímulo consiste novamente na alteração entre um fundo branco e preto e ao longo do vídeo, aumenta o número das figuras com diminuição da sua dimensão [4].

Na figura 3.3 estão representados alguns exemplos deste tipo de estímulo. Nas figuras 3.3a e 3.3b, as imagens foram retiradas ainda na parte inicial do vídeo, em que ainda não ocorreu o aumento do número e a diminuição do tamanho das formas geométricas. Na figura 3.3c, a imagem apresentada já sofreu uma diminuição do tamanho das formas geométricas, acompanhada por um aumento do número destas.

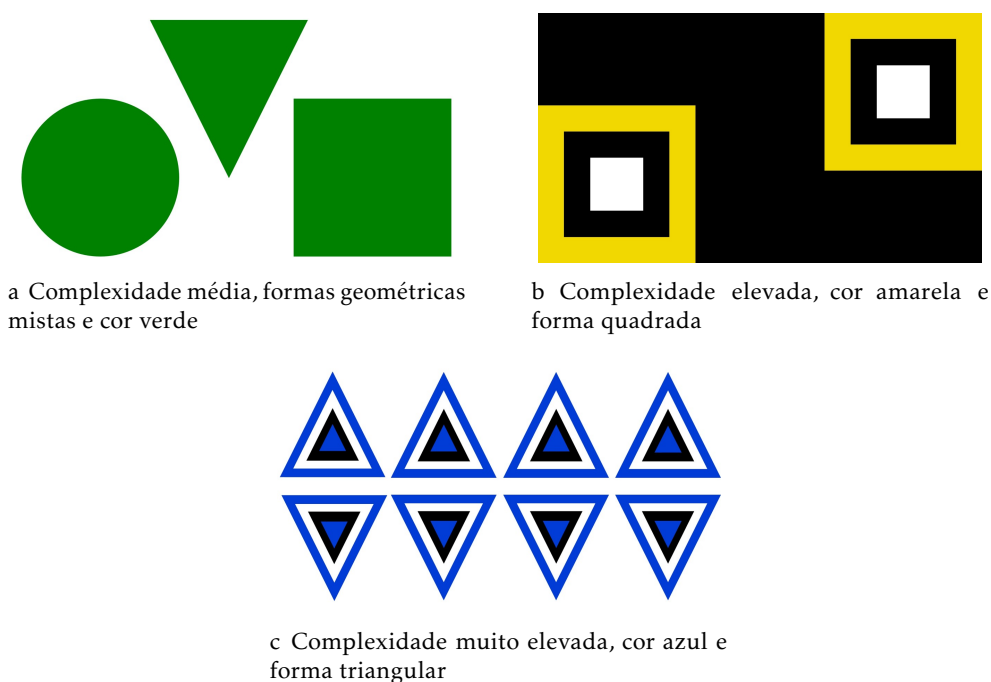


Figura 3.3: Imagens retiradas de vídeos de estímulos complexos, de forma circular e de cor vermelha

As figuras com movimento podem ser divididas em dois grupos. O primeiro está relacionado com a velocidade a que as imagens se movem (lento, médio e rápido) e segundo com o tipo de movimento (horizontal, vertical, diagonal, circular). Tal como foi descrito anteriormente, existe uma alternância entre um fundo branco e preto, acompanhada de uma redução do tamanho das figuras [4].

3.2 Dados Recolhidos Anteriormente

Este sub-capítulo está dividido em três partes. Na primeira parte, 3.2.1, é apresentada a evolução de crianças nas quais a plataforma foi aplicada. Na segunda parte, 3.2.2, são expostos os resultados do teste de usabilidade aplicado aos terapeutas ocupacionais do HDE que trabalharam com a plataforma. Na última secção, 3.2.3, estão descritas algumas limitações da plataforma, quer em termos de população, quer em tecnologia.

Dos resultados obtidos anteriormente pelas pessoas envolvidas neste projecto, não é possível avaliar a eficiência desta plataforma porque o tempo para testes em crianças foi curto. No entanto, atingiram-se os objectivos propostos pela equipa do Hospital Dona Estefânia em relação à padronização dos estímulos e ao registo de informação clínica do paciente, bem como das suas sessões de terapia, numa base de dados acessível aos vários departamentos envolvidos [4].

3.2.1 Resultados da aplicação da plataforma *RehabVisual* em bebés até aos 18 meses de idade

A plataforma *RehabVisual* foi incluída nas sessões de terapia de seis bebés, até 18 meses de idade, que apresentavam alterações no desenvolvimento relacionadas com o seu nascimento prematuro. O número de sessões não foi igual para toda a população em estudo e o único parâmetro idêntico deste estudo foi a distância, cerca de 20 cm, a que os bebés se encontravam do computador [4].

Após uma primeira avaliação comportamental dos bebés, os terapeutas escolheram os estímulos mais adequados, presentes na plataforma, de acordo com os resultados dessa mesma avaliação. Os vídeos mostrados nas sessões seguintes dependiam sempre dos resultados da sessão anterior, ou seja, se o bebé tivesse uma boa avaliação numa sessão, na sessão seguinte, ser-lhe-ia mostrado um vídeo com maior complexidade. Uma boa resposta comportamental durante a observação do estímulo corresponde a indicadores positivos por parte do bebé como sorrir, olhar e balancear. Desta forma, é garantida uma reabilitação personalizada para cada indivíduo [4].

Em termos de resultados, estes são apresentados na dissertação da ex-aluna Catarina Santos, através de gráficos que descrevem a evolução de cada criança ao longo das sessões, relativamente à sua capacidade de fixação e perseguição. Estes parâmetros, são avaliados numa escala de 1 a 5 pelo terapeuta que acompanha a sessão, sendo que o número 1 corresponde a nunca acompanhar e o número 5 corresponde a acompanhar sempre. Foi contabilizado ainda o número de vídeos assistidos em cada sessão [4].

Do estudo realizado não é possível tirar conclusões relacionadas com o desenvolvimento dos bebés, devido ao baixo número de sessões de terapia realizadas por cada um. Desta forma, nem todos os bebés experimentaram todos os estímulos presentes na plataforma. No entanto, é possível verificar que a maioria da população em estudo foi progredindo na complexidade dos estímulos e que a capacidade de fixação nunca é inferior à capacidade de perseguição [4].

Na figura 3.4 é apresentado um exemplo de um gráfico da evolução de um bebé prematuro, do sexo masculino e com 8 meses de idade. É possível observar que, com o aumento da dificuldade dos estímulos, principalmente na vertente da velocidade destes, ocorre uma diminuição da capacidade de fixação e de perseguição do bebé [4].

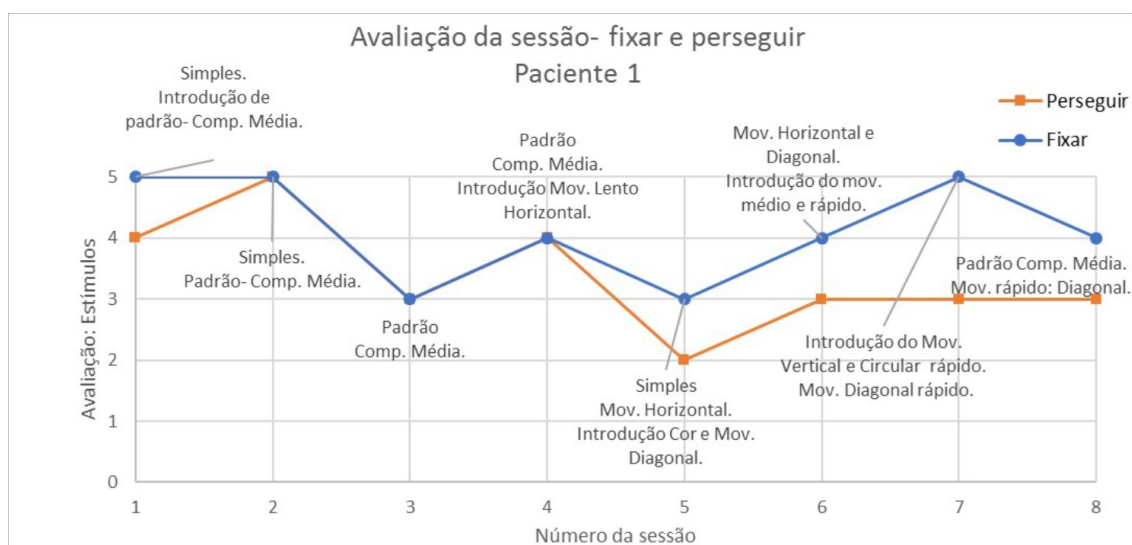


Figura 3.4: Exemplo da evolução de um bebé [4]

3.2.2 Resultados do teste de usabilidade aplicado aos terapeutas ocupacionais do Hospital Dona Estefânia

Juntamente com a aplicação da plataforma por parte dos terapeutas ocupacionais, foi realizado um teste de usabilidade a cada um que tenha estado em contacto com a mesma. O questionário realizado foi do tipo SUS e foi preenchido por nove terapeutas ocupacionais, sendo que quatro pertenciam ao serviço de MFR do HDE e cinco pertenciam ao Centro de Medicina de Reabilitação de Alcoitão [4].

Dos resultados obtidos deste questionário, apenas dois utilizadores classificaram a plataforma negativamente, com pontuações de 57.5 e 42.5. A pontuação média dos nove inquiridos foi de 75.6, o que representa uma classificação acima da média, pois o seu valor é superior a 68 [4].

Foram também recolhidas opiniões dos inquiridos relativamente a melhorias da plataforma, sendo que todas estavam relacionadas com o *design* da plataforma [4].

3.2.3 Limitações dos resultados obtidos anteriormente

Como os bebés prematuros não são a única população com probabilidade de apresentar deficiências nas capacidades visuomotoras e perceptivas, pretendeu-se, nesta dissertação, adicionar um novo tipo de população estudada. Desta forma, surgiu a possibilidade de, numa parceria com o Instituto Politécnico de Beja (IPB), testar a plataforma em indivíduos que tenham sofrido um AVC, observando se a sua aplicação ajuda na reabilitação visual e perceptual dos mesmos.

Como a análise da reacção da criança ao vídeo é feita pelo terapeuta ocupacional, de forma subjectiva, foi proposta a criação de uma ferramenta de análise de vídeo, que conseguisse detectar os olhos das crianças que se encontrem a realizar sessões de reabilitação. Desta forma, seria possível obter um resultado mais objectivo sobre a direcção para a qual

3.2. DADOS RECOLHIDOS ANTERIORMENTE

a pessoa está a olhar durante a visualização de um estímulo, ajudando o terapeuta a tirar as suas conclusões.

APLICAÇÃO DA PLATAFORMA A INDIVÍDUOS COM AVC

Neste capítulo é descrito um estudo realizado por estudantes de Licenciatura em Terapia Ocupacional, do Instituto Politécnico de Beja (IPB), que teve como base a utilização da plataforma *RehabVisual*.

Encontra-se dividido em duas partes. A primeira, referente ao sub-capítulo 4.1, descreve o estudo realizado e os resultados obtidos. Na segunda parte, referente ao sub-capítulo 4.2, são apresentados os resultados do questionário SUS aplicado aos alunos e à sua orientadora.

4.1 Apresentação do estudo e dos resultados obtidos pelos alunos do IPB

O principal objectivo deste estudo foi tentar perceber de que forma é que a plataforma *RehabVisual* consegue melhorar as capacidades visuomotoras de indivíduos que sofreram um AVC, quando integrada nas suas sessões de reabilitação.

A plataforma foi aplicada por quatro estudantes de Licenciatura em Terapia Ocupacional do IPB [5].

O trabalho realizado nesta parceria pode ser dividido em quatro etapas:

- 1ª etapa: Instalação da plataforma *RehabVisual* no computador dos alunos do IPB e da sua orientadora, realizada pelo autor desta dissertação;
- 2ª etapa: Desenvolvimento do protocolo de aplicação - O protocolo de aplicação foi discutido, numa fase inicial, pela equipa do IPB, pelo autor desta dissertação, pelas suas orientadoras e pela terapeuta ocupacional que ajudou no desenvolvimento da

plataforma. Após a familiarização com a plataforma por parte da equipa do IPB, estes realizaram algumas alterações ao protocolo;

- 3ª etapa: Aplicação em contexto clínico - A plataforma foi aplicada na população alvo pela equipa do IPB;
- 4ª etapa: Apresentação dos resultados - A equipa do IPB apresentou os resultados a todas as pessoas envolvidas na discussão do protocolo e realizou o questionário SUS.

4.1.1 Caracterização da amostra

A população em estudo é constituída por seis indivíduos que se encontravam a realizar reabilitação na Santa Casa da Misericórdia de Serpa ou na Unidade Local de Saúde do Litoral Alentejano e que sofreram um acidente vascular cerebral com consequências para as suas capacidades visuomotoras. Este grupo pode ser ainda dividido em dois subgrupos: um grupo de controlo e um grupo onde a plataforma foi aplicada, sendo que cada grupo é constituído por três pacientes. Ou seja, três pacientes receberam o tratamento de reabilitação convencional e outros três receberam o mesmo tratamento mais a plataforma *RehabVisual*. As suas idades estão compreendidas entre os 55 e os 70 com uma média de 62 anos. O grupo que teve o apoio da plataforma na sua reabilitação teve duas sessões por semana, durante quatro semanas. Cada sessão teve uma duração de 7 a 12 minutos. O grupo de controlo esteve sujeito à terapia convencional durante, também, quatro semanas [5].

Para que um indivíduo pudesse fazer parte do estudo, este tinha que corresponder a determinados critérios como ter sofrido um AVC que tenha afectado as suas competências visuomotoras. No entanto, é necessário, para a sua participação neste estudo, que o AVC não tenha interferido nem na sua acuidade visual, pois caso esteja afectada, pode levar a uma má visualização dos estímulos, nem na sua capacidade cognitiva e de linguagem, de forma a que consiga perceber o que lhe está a ser pedido pelos alunos [5].

De forma a avaliar se existia um défice cognitivo, foi utilizado um teste denominado por *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA) (ver anexo II). O MoCA, é um teste feito em papel, constituído por vários exercícios, que permite distinguir problemas cognitivos resultantes do normal envelhecimento de défices cognitivos relacionados com doenças [5]. As habilidades cognitivas testadas nos exercícios do MoCA são a memória, a enumeração, a função visuoespacial, a linguagem e o pensamento abstracto [35]. A sua classificação varia de 0 a 30, consoante a prestação do paciente, sendo que um resultado superior a 26 traduz-se num não declínio cognitivo [5].

Os indivíduos seleccionados tinham que ser adultos, que sofreram um AVC há menos de seis meses [5].

4.1.2 Protocolo de aplicação

Relativamente ao protocolo de aplicação, os estímulos da plataforma foram apresentados aos pacientes ao longo das sessões, com um aumento gradual da sua complexidade consoante a evolução destes. Com o auxílio de um cronómetro, foi contabilizado o tempo que cada indivíduo demorou a analisar o estímulo [5].

Cada estímulo tinha associado a si uma tabela que ia sendo preenchida pelos alunos ao mesmo tempo que o paciente realizava a análise. Os parâmetros a preencher estavam relacionados com o tempo total de análise do estímulo, o número de vezes que o paciente deixou de seguir o estímulo e no número de vezes que este não respondeu às perguntas relacionadas com o estímulo ou errou na resposta a estas mesmas perguntas. As perguntas feitas pelos alunos variavam consoante o estímulo, sendo que "Qual é a forma geométrica da figura que aparece no ecrã? E qual a sua cor?", "Quantas formas vê no ecrã e qual a sua cor?" e "Qual é a direcção do movimento da figura?" são alguns exemplos [5].

Para avaliação da evolução dos pacientes, antes e após a realização das quatro semanas de terapia, foi utilizado um teste, intitulado de *Trail Making Test* (TMT), que se encontra dividido em duas partes: A e B (ver anexo III). Em ambos os casos, o teste é constituído por uma folha com 25 círculos dispersos. No teste do tipo A, cada um dos círculos contém um número de 1 a 25 e o indivíduo que realiza o teste deve ligá-los, utilizando um utensílio de escrita sem o tirar do papel, por ordem crescente. No caso B, os círculos contêm números, de 1 a 13, e letras, de A a L. O paciente deve então conectar os círculos por ordem, alternando entre números e letras. Ou seja, o resultado esperado deverá começar por 1-A-2-B-3-C, acabando no 12-L-13 [5].

4.1.3 Resultados do estudo

Os resultados obtidos foram os que se encontram na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Resultados obtidos pelos alunos do IPB [5]

	Caso 1 com protocolo	Caso 2 com protocolo	Caso 3 com protocolo	Caso 4 sem protocolo	Caso 5 sem protocolo	Caso 6 sem protocolo
Território Arterial da lesão	ACM direita	ACM direita	ACP direita	ACM direita	ACM direita	ACP direita
Tempo AVC	45 dias	60 dias	88 dias	60 dias	35 dias	78 dias
Escolaridade	4 anos	4 anos	12 anos	6 anos	4 anos	9 anos
Nº total de paragens	1	2	0	-	-	-
Nº total de omissões	8	7	2	-	-	-
Nº total de erros	9	4	1	-	-	-
Diferença total entre o tempo esperado e tempo realizado	3 min 1 s	1 min e 56 s	30 s	-	-	-
1ª avaliação do TMT	A: 9 min 10 s B: 11 min 37 s	A: 3 min 1 s B: 5 min 11 s	A: 50 s B: 1 min 20 s	A: 1 min 10 s B: 5 min 20 s	A: 3 min 16 s B: 4 min 10 s	A: 2 min 19 s B: 3 min 40 s
2ª avaliação do TMT	A: 3 min 12 s B: 8 min 8 s	A: 1 min 23 s B: 3 min 49 s	A: 42 s B: 1 min 11 s	A: 1 min 5 s B: 4 min 30 s	A: 3 min 25 s B: 5 min 5 s	A: 2 min 5 s B: 4 min 45 s
Diferença do tempo entre a 1ª avaliação e a 2ª avaliação do TMT	A: -5 min 58 s B: -2 min 58 s	A: -1 min 38 s B: -1 min 22 s	A: -8 s B: -9 s	A: -5 s B: -50 s	A: +9 s B: +55 s	A: -14 s B: +1 min 5 s

Através da análise da tabela 4.1 é possível verificar que os pacientes que utilizaram a terapia convencional juntamente com a plataforma *RehabVisual* apresentaram uma tendência para a melhoria do tempo em que demoram a realizar o *TMT*. Apenas o caso 3 manteve um tempo semelhante, embora tenha ocorrido uma pequena redução. Em

relação aos casos em que não foi aplicada a plataforma, o caso 4 teve uma ligeira melhoria no tempo de realização do teste, enquanto que o caso 5 demorou mais tempo a realizá-lo. O caso 6, no teste A obteve uma ligeira melhoria enquanto que no teste B ocorreu um aumento do tempo de realização.

Embora este estudo tenha sido realizado numa pequena amostra de população, é possível verificar que a aplicação da plataforma pode ajudar na recuperação de indivíduos que tenham sofrido um acidente vascular cerebral.

4.2 Teste de usabilidade aplicado à equipa do IPB

Após o término da recolha de dados e da sua análise por parte dos quatro alunos do último ano de Terapia Ocupacional, foi entregue, a estes e à sua orientadora, um questionário para se tentar perceber a sua satisfação para com a plataforma. Ou seja, pretendeu-se com este inquérito, aferir se os utilizadores consideraram que a plataforma é de fácil aplicação e aprendizagem. As questões utilizadas foram as questões modelo de um questionário do tipo SUS, traduzido para português. (ver anexo I).

Os resultados obtidos através do questionário SUS encontram-se expostos na tabela 4.2. Esta tabela possui um esquema de cores, em que o verde escuro corresponde à pontuação máxima possível, o verde claro corresponde à segunda melhor, o amarelo está associado ao valor intermédio, o laranja corresponde à segunda pior classificação e por fim, o vermelho corresponde à pior classificação possível.

Tabela 4.2: Resultados do Questionário SUS

	Utilizador 1	Utilizador2	Utilizador3	Utilizador4	Utilizador5
Questão 1	5	4	4	4	4
Questão 2	2	1	1	1	1
Questão 3	4	5	5	5	5
Questão 4	2	1	1	3	1
Questão 5	4	4	4	4	5
Questão 6	2	1	1	1	1
Questão 7	4	4	4	5	5
Questão 8	2	1	1	1	1
Questão 9	4	4	4	5	4
Questão 10	2	1	1	1	1
Pontuação SUS	77,5	90	90	90	95
Média das Pontuações	88,5				

Através da análise da tabela 4.2, é possível observar que os resultados obtidos são bastante satisfatórios pois a sua média é superior a 78.9 [33]. Segundo a distribuição de classificação referida no capítulo 2, apenas um dos inquiridos (utilizador 1) não classificou a plataforma *RehabVisual* como excelente em termos de usabilidade, pois a sua pontuação SUS foi inferior a 78.9 [33].

Em termos da análise individual de cada pergunta, na tabela 4.3 estão representadas a média das respostas de cada questão.

Tabela 4.3: Média das respostas ao questionário SUS

Questões	Média das respostas
Questão 1	4,2
Questão 2	1,2
Questão 3	4,8
Questão 4	1,6
Questão 5	4,2
Questão 6	1,2
Questão 7	4,4
Questão 8	1,2
Questão 9	4,2
Questão 10	1,2

Analisando a tabela 4.3, é possível verificar que as questões que obtiveram uma pontuação mais baixa foram as questões 1, 5 e 9, que correspondem respectivamente às perguntas "Penso que gostaria de utilizar este sistema com frequência", "Achei que as diversas funções deste sistema foram bem integradas" e "Senti-me muito confiante a utilizar o sistema". Embora estas possuam o valor mais baixo, não deixa de ser um resultado alto e por conseguinte positivo.

As questões melhor cotadas foram as perguntas 2, 3, 6, 8 e 10, que correspondem respectivamente às questões "O sistema é desnecessariamente complexo", "Penso que o sistema é fácil de usar", "Achei que existem muitas inconsistências no sistema", "Achei o sistema muito complicado de usar" e "Preciso de aprender muitas coisas antes de usar o sistema".

4.2.1 Opinião geral dos utilizadores da plataforma *RehabVisual*

Como o questionário do tipo SUS não serve para diagnóstico, ou seja, não dá para retirar a experiência específica dos utilizadores, encontra-se em baixo a opinião geral dos utilizadores da plataforma.

Os factores positivos destacados pelos alunos do IPB foram:

- A sua fácil utilização;
- O facto de ser uma plataforma que permite o acesso *offline*;
- A fácil navegação dentro da plataforma;
- A personalização e adaptabilidade dos estímulos;
- A possibilidade do aumento da dificuldade dos estímulos ao longo das sessões;

Como aspectos possíveis de melhorar, de forma a que a plataforma fique mais adaptada a doentes adultos que tenham sofrido um acidente vascular cerebral, os alunos destacaram:

- O facto de os estímulos movimentarem-se sempre na mesma direcção. Desta forma, o paciente tinha a possibilidade de decorar os estímulos e poderia estar a mentir;
- O facto de serem utilizadas apenas figuras geométricas como estímulos pode não ser o mais indicado para esta faixa etária. Dos estímulos disponíveis, os que se adequaram mais à idade dos pacientes foram os estímulos com padrão;
- Os estímulos com movimento lento são demasiado vagarosos para estas idades e o vídeo deste estímulo é demasiado longo, o que causa perda de foco e de interesse por parte dos pacientes.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE EYETRACKING

Neste capítulo é abordada a forma como foi desenvolvido o sistema de *eyetracking* a incluir na plataforma como uma funcionalidade adicional.

No sub-capítulo 5.1 é referido o programa que foi utilizado e qual o seu principal objectivo do programa desenvolvido no âmbito desta dissertação. No sub-capítulo 5.2 é descrito todo o processo executado pelo programa desenvolvido.

5.1 *Software* utilizado e objectivo do programa desenvolvido

O sistema de *eyetracking* foi desenvolvido utilizando o programa *MATLAB R2017a*. O seu principal objectivo é a detecção e acompanhamento dos olhos dos indivíduos em estudo. A população alvo para a qual esta ferramenta foi desenvolvida é constituída por crianças, com menos de dois anos de idade, que apresentem dificuldades nas capacidades visuomotoras. Pretende-se implementar este sistema no acompanhamento de sessões de terapia ocupacional, em que é utilizada a plataforma *RehabVisual*. Desta forma, pretende-se auxiliar o terapeuta na tentativa de perceber se a criança acompanhou os estímulos apresentados durante a sessão.

5.2 Implementação do sistema de *eyetracking*

Neste sub-capítulo encontra-se a descrição passo a passo do programa desenvolvido, sendo que na figura 5.1 encontra-se um fluxograma que resume este processo.

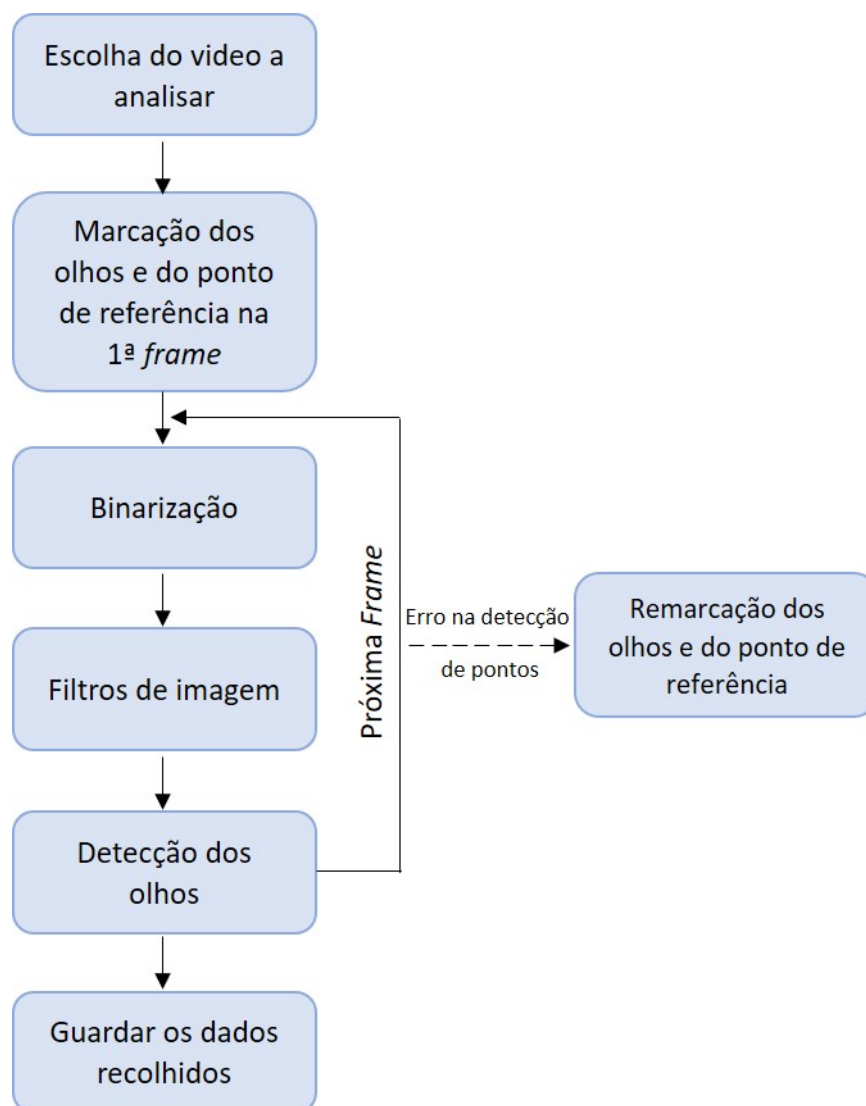


Figura 5.1: Esquema do programa desenvolvido

O processo, que é realizado *offline*, é iniciado com a escolha do vídeo, previamente gravado, que se pretende analisar. De seguida é pedido ao utilizador que marque, com o cursor do computador, os olhos do indivíduo em estudo e um ponto de referência, na imagem que aparece no ecrã e que corresponde à primeira *frame* do vídeo. A utilização de um ponto de referência baseia-se na escolha de um ponto estático, que só mude de posição quando a cabeça do indivíduo em estudo se move e que possa ser facilmente comparado com a posição dos olhos. Quando a cabeça se move, o ponto de referência acompanha este movimento, pois é utilizado um *tracker*, através da função *vision.PointTracker()*, que pertence ao *Computer Vision Toolbox* presente no *Matlab*, que permite que o ponto se mantenha na mesma posição relativamente à cara. Este processo é realizado utilizando o algoritmo de *Kanade-Lucas-Tomasi* que utiliza as características de interesse de um ponto para o acompanhar.

Os passos que se seguem são todos automáticos, não necessitando portanto da interação do utilizador. Passos estes que são a binarização da imagem, a aplicação de filtros que a processam e, por fim, a detecção dos olhos. No entanto, podem surgir situações em que seja necessário uma nova marcação da posição dos olhos e do ponto de referência. Quando este problema se encontra resolvido, o processo automático volta a decorrer. Quando é atingido o fim do vídeo, os dados encontrados são guardados em matrizes para uma posterior análise.

Durante a análise do vídeo, o utilizador consegue acompanhar a detecção dos olhos quer no vídeo, figura 5.2, quer na interface de processamento de imagem representada na figura 5.3.

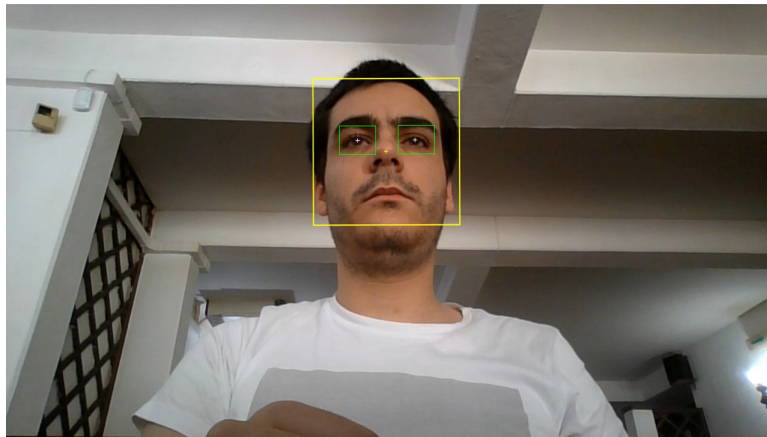


Figura 5.2: Resultado final demonstrado no vídeo em análise

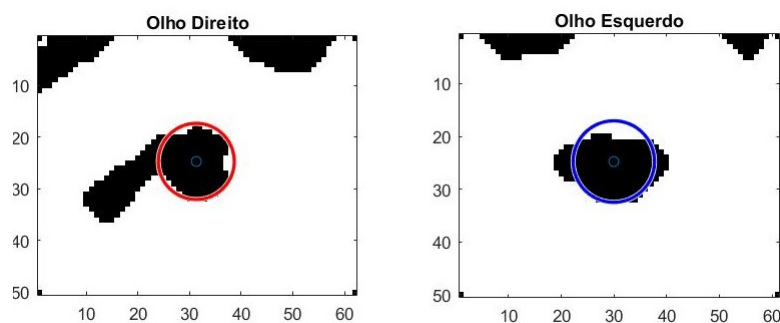


Figura 5.3: Interface que mostra os olhos na imagem binarizada e a sua detecção (assinada com um círculo)

Nos seguintes sub-capítulos, são explicados detalhadamente cada um dos processos referidos na figura 5.1.

5.2.1 Marcação manual dos olhos e do ponto de referência na primeira *frame*

Quando se executa o programa, é pedido ao utilizador que marque, com o cursor do computador, os dois centros dos olhos e o ponto de referência. Estes pontos ficam guardados

utilizando a função `getpts()`. Na figura 5.4 encontra-se um exemplo da marcação do olho esquerdo do indivíduo.



Figura 5.4: Marcação manual do olho esquerdo na primeira *frame*

Convém que o ponto de referência se encontre o mais equidistante possível dos dois olhos, como por exemplo o centro do nariz. Esta marcação manual de pontos é necessária porque num vídeo podem existir mais do que dois círculos com as características pretendidas, como por exemplo os olhos do terapeuta, quando este é filmado conjuntamente com o doente. Com a escolha dos pontos, é gerada também uma caixa ao redor da cara da pessoa em questão, como é possível observar na figura 5.5.

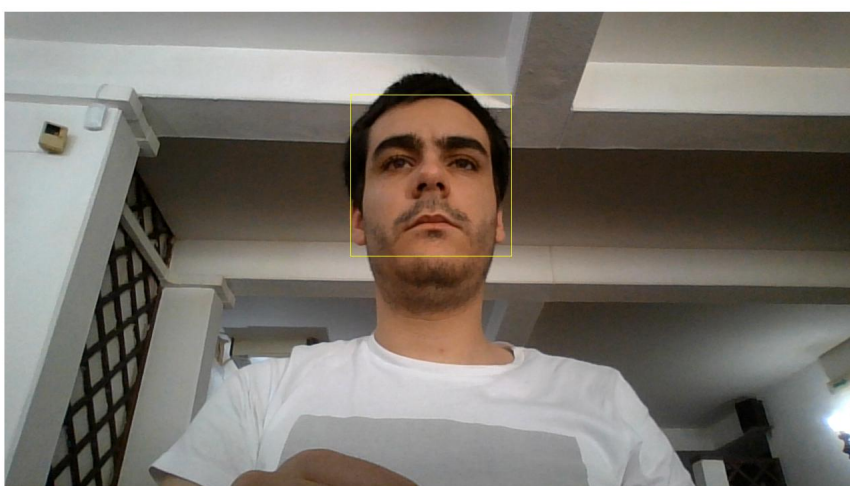


Figura 5.5: Exemplo de uma *frame* do vídeo com o detector facial a amarelo

A detecção facial é realizada através da função `vision.CascadeObjectDetector()`, que

pertence ao *Computer Vision Toolbox* presente no *Matlab*. Esta função quando não recebe um *input*, escolhe o modo *default* que corresponde à detecção facial. Inicialmente nesta tese, foram testadas outras opções como *vision.CascadeObjectDetector('EyePairBig')*, *vision.CascadeObjectDetector('EyePairSmall')*, *vision.CascadeObjectDetector('RightEyeCART')* e *vision.CascadeObjectDetector('LeftEyeCART')*. Os dois primeiros métodos utilizam-se para a detecção dos dois olhos simultaneamente, enquanto que os dois últimos têm como objectivo detectar o olho direito e o olho esquerdo, respectivamente. No entanto, estes métodos revelaram-se pouco estáveis, observando-se que, ao longo do vídeo, existiam várias alterações do tamanho da caixa de detecção. Esta caixa de detecção facial é importante para corrigir alguns erros de detecção dos olhos. O seu propósito é explicado mais à frente no sub capítulo 5.2.4.

É iniciada então a reprodução do vídeo e a sua análise.

5.2.2 Detecção dos olhos nas restantes *frames*

Após a marcação da posição inicial dos olhos, são geradas duas caixas de dimensões fixas, uma para cada olho, que vão fazer *crop* dessa secção do vídeo. Esse *crop* é executado através da função *imcrop()* que recebe como argumentos a imagem original, as coordenadas (x,y) do ponto superior esquerdo do rectângulo a ser gerado e a largura e altura do mesmo.

À medida que os olhos se vão movimentando, a caixa também o faz, pois esta é sempre gerada a partir da posição do olho, tal como está representado no esquema da figura 5.6. Por exemplo, se o olho se encontrar na posição (x,y) , a caixa gerada vai ter como coordenada superior esquerda o ponto $(x - \frac{dimx}{2}, y - \frac{dimy}{2})$, sendo que *dim x* e *dim y* são as dimensões fixas da caixa referidas anteriormente. Se na *frame* seguinte as novas coordenadas do olho forem (a,b) , a coordenada do ponto superior esquerdo da caixa será $(x - \frac{dimx}{2} + a - \frac{dimx}{2}, y - \frac{dimy}{2} + b - \frac{dimy}{2})$. Desta forma, garante-se que o olho se encontra sempre no centro da mesma, tornando mais fácil a sua identificação e acompanhamento caso a cabeça se mova.

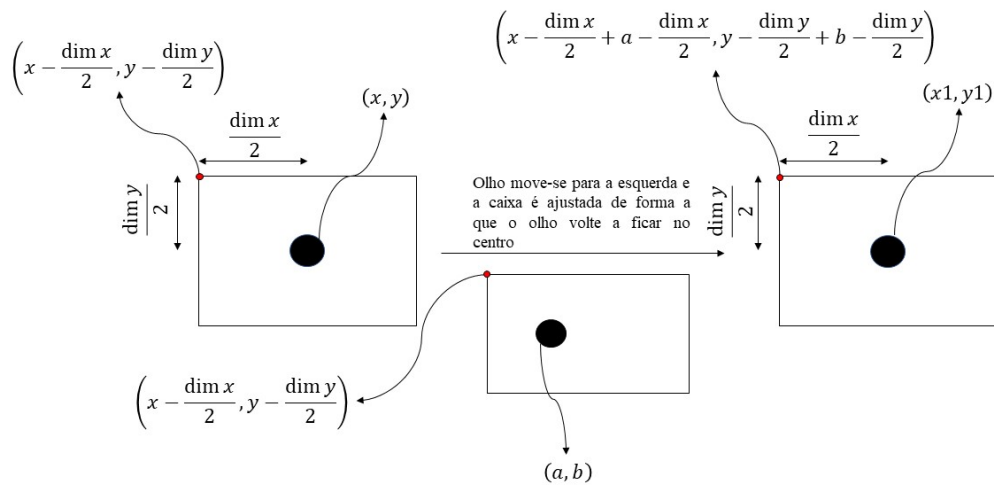


Figura 5.6: Esquema representativo da movimentação da caixa do olho

As coordenadas finais dos olhos, que serão analisadas após a reprodução do vídeo, são geradas fazendo o processo inverso, ou seja, soma-se à coordenada superior esquerda do retângulo as coordenadas dos centros dos olhos. Esta soma é realizada porque o vértice superior esquerdo desse rectângulo tem as suas coordenadas relativas a toda a imagem da *frame*, enquanto que as coordenadas do olho são relativas à caixa criada.

Tal como está representado na figura 5.2, as caixas apresentam uma cor verde. Esta cor significa que nessa *frame* o olho está a ser detectado. Caso não o seja, a caixa irá apresentar uma cor vermelha.

Dentro de cada caixa decorre um processamento de imagem que pode ser dividido em três partes: binarização, aplicação de filtros e detecção do olho. O esquema da figura 5.7 é ilustrativo do processamento que ocorre durante os vários passos que levam à detecção do olho. Na primeira imagem está representado o que é obtido directamente do vídeo, na segunda encontra-se retratado o processo de binarização dessa mesma imagem, e na terceira encontra-se representada uma imagem que já tem os filtros aplicados e a detecção do centro do olho.

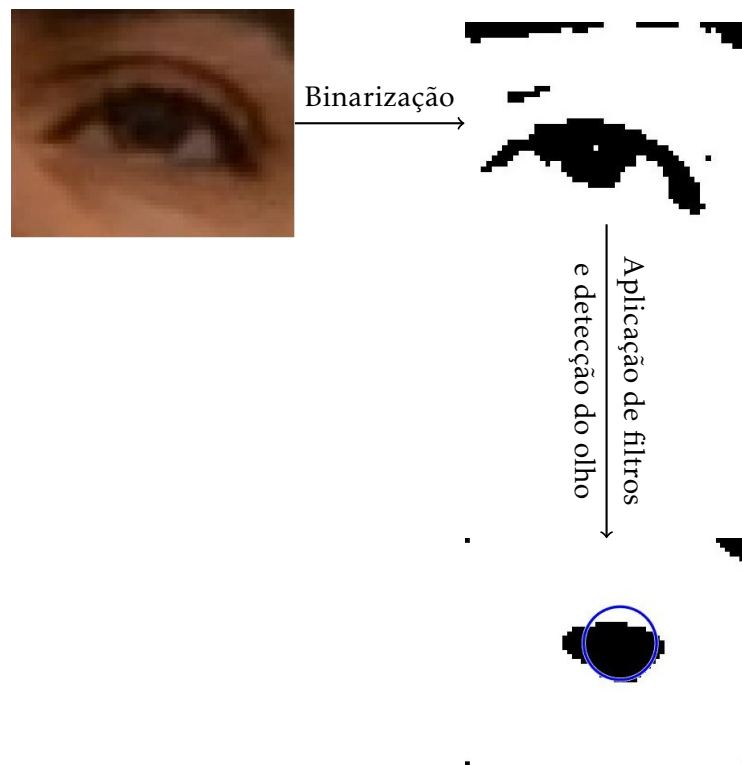


Figura 5.7: Processamento da imagem

Binarização

A binarização converte uma imagem, cujo formato seja *Red Green Blue (RGB)* ou escala de cinzentos, numa imagem a preto e branco. Caso a imagem se encontre no formato RGB, antes de ocorrer a binarização, esta é transformada numa imagem de escala de cinzentos. Este processo é efectuado através da utilização da função *im2bw*. Esta função recebe como argumentos uma imagem e um valor que varia entre zero e um. Este valor corresponde a um limite que é imposto à binarização e que define até que valor de intensidade na escala de cinzentos é que fica a preto na imagem. Os valores superiores a esse limite terão uma cor branca na imagem. Como a binarização é aplicada apenas à caixa de cada olho, o resultado final terá apenas o centro do olho, a sombra por cima das pálpebras e as sobrancelhas.

A escolha da binarização em vez da utilização de uma imagem na escala de cinzentos está relacionada com o facto de ser mais prático filtrar uma imagem a preto e branco, de forma a que o resultado final seja apenas o centro do olho.

O valor escolhido para definir o que fica a preto e o que fica a branco depende da luminosidade do ambiente em que o vídeo foi gravado. Assim, é necessário testar que valor deve ser utilizado antes da análise do vídeo. Este valor pode ser diferente para cada olho dentro do mesmo vídeo.

Aplicação de filtros

Após a binarização da imagem, são aplicados três tipos de filtros: erosão (através da função *imerode*), dilatação (através da função *imdilate*) e mediana (através da função

medfilt2). Os filtros erosão e dilatação, reduzem e expandem, respectivamente, a imagem segundo um elemento estrutural denominado por *strel*. O *strel* utilizado no programa desenvolvido é do tipo disco com um raio de valor 1. Caso a imagem seja binária, a erosão e dilatação serão feitas na parte branca da imagem, ou seja, vão ter o efeito contrário na parte preta.

Desta forma, é removido quase todo o ruído existente na imagem, como por exemplo, a sombra das pálpebras, obtendo-se apenas, numa situação óptima, um círculo preto que corresponde ao centro do olho. O número de erosões e dilatações para se obter apenas o centro do olho pode variar, dependendo do vídeo a ser analisado, mas executar duas erosões seguidas de cinco dilatações e por fim três erosões apresenta bons resultados na maior parte dos casos. No esquema da figura 5.8 está representado o processo de erosões e dilatações. A primeira imagem corresponde às duas erosões, a segunda às cinco dilatações e a terceira às três erosões.

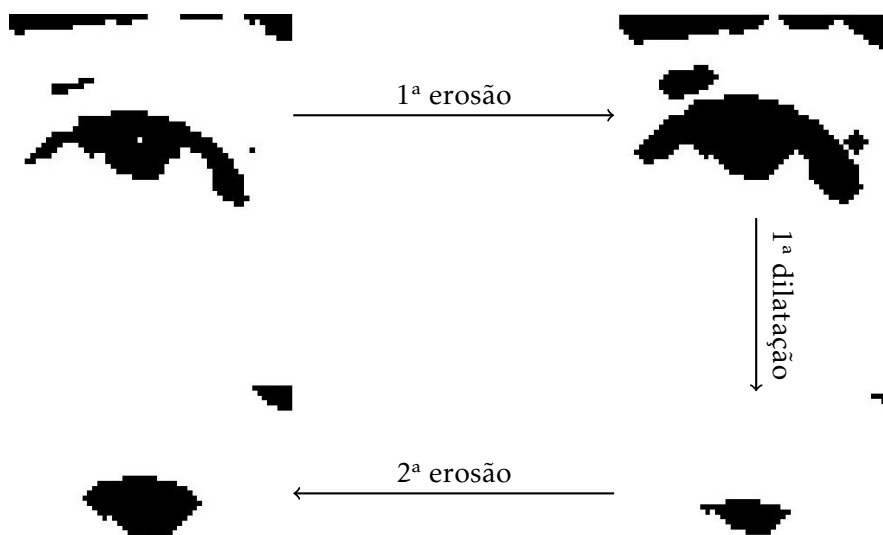


Figura 5.8: Exemplo dos filtros de erosão e dilatação

O filtro mediana é utilizado para remover qualquer ruído do tipo *sal e pimenta*, ou seja, pequenos pontos desnecessários que não tenham sido removidos pelos filtros anteriores.

Detecção do olho

A detecção do olho é realizada através da função *imfindcircles()*. Esta função está programada para detectar círculos consoante o raio e grau de sensibilidade que o utilizador pretende. Quanto maior for o grau de sensibilidade, mais círculos irão ser detectados, pois com este aumento, são detectados também círculos parcialmente obstruídos. O valor do raio escolhido encontra-se compreendido entre 6 e 12 píxeis e o grau de sensibilidade utilizado é de 0,90. Foi utilizado ainda nesta função o argumento *Object Polarity* com o valor de *dark*, pois desta forma são detectados círculos que são mais escuros que a cor de fundo da imagem analisada.

O desenho do círculo feito à volta do olho é executado pela função *viscircles* que recebe a imagem, o centro do círculo e o seu raio.

De forma a garantir que apenas se está a detectar o olho, é utilizado um comparador que vai comparar o último círculo detectado com todos os círculos encontrados pela função na caixa que contém apenas o olho.

Após esta comparação, o valor do centro, em coordenadas x e y , é guardado e a caixa altera de posição segundo esse centro.

5.2.3 Guardar os dados e sua apresentação

Durante o processo de análise do vídeo, são guardados valores em várias matrizes. As matrizes existentes são: matrizes com os valores do centro de cada olho, matriz das coordenadas do ponto superior esquerdo da caixa dos olhos e a matriz das coordenadas do ponto de referência.

Os valores usados para a construção do gráfico de resultados são obtidos através da soma dos valores da matriz de cada olho com a matriz da caixa correspondente a esse olho. Em seguida, é feita uma subtração da matriz soma com a matriz do ponto de referência. Como os olhos podem não ser detectados em todas as *frames* do vídeo, são retirados os valores em que não exista detecção dos mesmos, pois estes valores não são relevantes para o gráfico final. Finalmente, é criado o gráfico a partir desta matriz subtração já processada em que no eixo dos x temos as *frames* e no eixo dos y temos os valores da matriz subtração. Cada vídeo permite gerar quatro gráficos, cada um com uma matriz subtração diferente no eixo dos y : variação do olho esquerdo na horizontal, variação do olho esquerdo na vertical, variação do olho direito na horizontal e variação do olho direito na vertical.

5.2.4 Motivos para a reintrodução manual de pontos

Ao longo do desenvolvimento do sistema de *eyetracking* foram detectadas algumas situações em que os olhos não eram detectados pelo algoritmo. Desta forma foram criadas várias condições para que a reprodução do vídeo seja interrompida e se faça uma nova marcação manual dos pontos dos olhos e de referência. Caso o problema esteja relacionado com a não detecção dos olhos, porque ocorreu, por exemplo, uma rotação da cabeça, é possível avançar no vídeo até que seja encontrada uma situação que o utilizador ache favorável para esta mesma detecção. Estão listadas em baixo, as situações que requerem uma reintrodução manual dos pontos.

- **Rotação excessiva da caixa de detecção facial:** Quando ocorre uma grande rotação da cabeça do indivíduo em estudo. no vídeo que está a ser analisado, pelo menos um dos olhos pode não ser detectado. Com esta protecção, torna-se possível que o utilizador avance no vídeo até que a cara da pessoa em análise volte a ficar numa posição em que seja possível detectar os olhos.

- **Programa continua parado porque ainda não foram marcados os novos pontos:** Quando a análise do vídeo pára, devido a uma das condições ter sido observada, o valor de uma variável denominada por *mov* é alterado para o valor um. Caso os pontos sejam marcados, o valor é alterado para zero e o vídeo volta a ser reproduzido. Caso contrário, a variável continuará com o valor um, o vídeo continuará sem reproduzir e será apresentada ao utilizador a *frame* seguinte para que este marque os pontos.
- **Alteração do tamanho da caixa de detecção facial:** Como o detector facial é utilizado para corrigir falhas na detecção ocular, é necessário que este não varie excessivamente de tamanho. Caso ocorra uma mudança brusca, o utilizador volta a marcar os pontos necessários e uma nova caixa de detecção facial, relativa ao indivíduo em estudo, é gerada.
- **Caixa de um dos olhos sair de dentro da caixa de detecção facial:** Outra forma de se corrigir a não detecção dos olhos é verificar se as caixas geradas à volta destes se encontram dentro da caixa de detecção facial. No caso de uma das caixas dos olhos ultrapassar a caixa de detecção facial, a reprodução do vídeo pára e é pedido ao utilizador que volte a marcar os pontos. Este problema surge quando numa *frame* é detectado algo que não seja o olho, como por exemplo uma sombra nas pálpebras.
- **Perda da validade do ponto de referência:** Como o vídeo é gravado utilizando a câmara do computador, a sua qualidade nem sempre é a melhor. Assim sendo, por vezes não é possível continuar a acompanhar a variação do movimento do ponto de referência, pois este perde a sua característica de interesse. Caso esta condição seja verdadeira, o programa entra em pausa e pede ao utilizador que volte a marcar, apenas, o ponto de referência. Caso o ponto não seja marcado, o programa pára. Estes problemas também podem ser causados pela baixa luminosidade ambiente.
- **Perda total do detector facial:** Relacionado com os problemas descritos no ponto acima, podem surgir também problemas relacionados com o detector facial. Este detector deixa de funcionar quando deixam de existir pontos de interesse suficientes na cara de um indivíduo. Quando ocorre este problema, a análise fica em pausa e é procurada novamente a cara que contém as últimas coordenadas detectadas dos olhos.

RESULTADOS

Neste capítulo pretende-se expor os resultados obtidos consoante a dificuldade da sua análise. No sub-capítulo 6.1 são apresentados os resultados de um vídeo gravado em ambiente e protocolo de aquisição controlados. No sub-capítulo 6.2 são apresentados exemplos de resultados de vários vídeos gravados em ambiente controlado, mas com um protocolo de aquisição à escolha do indivíduo em estudo. No sub-capítulo 6.3 são apresentados os resultados da gravação de vídeo de duas crianças com menos de dois anos de idade, que se encontravam a observar estímulos presentes na plataforma *RehabVisual*.

Os vídeos foram gravados com 30,03 *frames* por segundo, utilizando a câmara integrada de um computador portátil que grava vídeos com uma qualidade de 720p e que se encontrava localizada na parte inferior do ecrã. O ecrã do computador portátil onde foram apresentados os estímulos tem cerca de 40 cm de diagonal. A gravação do vídeo foi iniciada quando se premiu o botão de gravar presente na aplicação da câmara do computador.

O valor de binarização variou de vídeo para vídeo, mas o número de iterações das funções *imerode()* e *imdilate()* foi mantido em todos os vídeos, utilizando o processo descrito no capítulo 5.

Os resultados são apresentados sob a forma de gráfico, em que no eixo x se encontra a variável *count*, correspondente ao número das *frames*, e no eixo y encontra-se representada a variação da posição de uma das coordenadas, x ou y , de um dos olhos, relativamente a um ponto de referência. Ou seja, no eixo y do gráfico encontra-se representada a diferença entre a posição do olho e a posição do ponto de referência.

O ponto de referência escolhido em todos os vídeos foi sempre o centro do nariz, por ser um ponto equidistante dos dois olhos.

A posição de um ponto numa imagem retirada de um vídeo segue os eixos representados na figura 6.1.

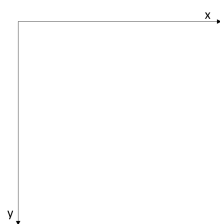


Figura 6.1: Eixos da posição de um ponto numa *frame* do vídeo

Assim, considerando que o centro do nariz é o ponto de referência, que a cabeça do indivíduo em estudo se encontra estática, ou seja, o valor (x,y) do ponto de referência é constante, que o olho esquerdo corresponde ao olho esquerdo do indivíduo, que o olho direito corresponde ao olho direito do indivíduo, que uma deslocação para a esquerda corresponde ao lado esquerdo da perspectiva do indivíduo, que uma deslocação para a direita corresponde ao lado direito da perspectiva do indivíduo e que os pontos retirados do vídeo seguem os eixos representados na figura 6.1, espera-se obter, nos gráficos apresentados nos seguintes sub-capítulos, o seguinte:

- Movimento Horizontal:
 - Olho esquerdo:
 - * Movimento para a direita: Quando o olho esquerdo se desloca para a direita, ocorre uma aproximação deste com o ponto de referência. Ou seja, o valor da posição horizontal do olho diminui. Assim sendo, a diferença da posição horizontal entre o ponto de referência e o olho esquerdo diminui.
 - * Movimento para a esquerda: Quando o olho esquerdo se move para a esquerda, ocorre um afastamento deste com o ponto de referência. Ou seja, o valor da posição horizontal do olho aumenta. Assim sendo, a diferença da posição horizontal entre o ponto de referência e o olho esquerdo aumenta.
 - Olho direito:
 - * Movimento para a direita: Quando o olho direito se move para a direita, ocorre um afastamento deste com o ponto de referência. O valor da posição horizontal do olho diminui. Assim sendo, a diferença da posição horizontal entre o ponto de referência e o olho direito aumenta.
 - * Movimento para a esquerda: Quando o olho direito se move para a esquerda, ocorre uma aproximação deste com o ponto de referência. Ou seja, a diferença da posição horizontal entre o ponto de referência e o olho direito diminui.
- Movimento Vertical (igual para os dois olhos):
 - Movimento para cima: Quando o olho se move para cima, o seu valor em y diminui, e este afasta-se do ponto de referência. Como o ponto de referência

tem um valor em y maior que o olho, a diferença entre o ponto de referência e o olho vai aumentar, ou seja, no gráfico, o valor representado no eixo dos y vai ficar mais negativo.

- Movimento para baixo: Quando o olho se move para baixo, o seu valor em y aumenta, e este aproxima-se do ponto de referência. Ou seja, a diferença entre o ponto de referência e o olho vai diminuir, o que se traduz numa subida do valor representado no eixo dos y do gráfico.

Assim, considerando o que foi referido em cima, é possível concluir que:

- O gráfico do movimento horizontal do olho esquerdo vai sempre apresentar um eixo y na escala positiva;
- O gráfico do movimento horizontal do olho direito vai sempre apresentar um eixo y na escala negativa;
- Os gráficos do movimento vertical do olho esquerdo e direito vão sempre apresentar um eixo y na escala negativa.

Os sub-capítulos que se seguem irão consistir em:

- Descrição do indivíduo em estudo;
- Descrição dos movimentos dos olhos, da cabeça e do corpo que ocorrem durante o vídeo;
- Apresentação de gráficos da variação das posições horizontais e verticais dos olhos;
- Apresentação e explicação de alguns pontos relevantes destes gráficos.

6.1 Resultados em ambiente e protocolo de aquisição controlados

Neste sub-capítulo são apresentados os resultados obtidos de um vídeo em que o ambiente e o protocolo de aquisição foram controlados. O indivíduo em estudo é do sexo masculino, saudável, de olhos castanhos, encontrando-se sentado confortavelmente a cerca de 60 cm do ecrã. O vídeo foi gravado num ambiente com luz que incide frontalmente no indivíduo. Os movimentos oculares realizados foram controlados, ou seja, não foram espontâneos. O vídeo tem uma duração de aproximadamente 9,4 segundos e a cabeça mantém-se praticamente estável até aos 8,662 segundos. Para a análise deste vídeo foi utilizada uma binarização de 0,12 para os dois olhos.

Relativamente aos movimentos horizontais dos olhos deste vídeo, o indivíduo começa por olhar para o centro até aos 2,7 segundos (*frame* 81), movendo os seus olhos para a sua direita neste instante e ficando a olhar nessa direcção até aos 4,1 segundos (*frame* 123).

Nesta altura do vídeo, o sujeito fica a olhar novamente para o centro até aos 4,8 segundos (*frame* 143). Neste instante, o indivíduo olha para a sua esquerda até aos 5,8 segundos (*frame* 173), instante em que volta a olhar para o centro. No instante 7,2 segundos (*frame* 216), o sujeito em estudo olha novamente para a sua esquerda até ao instante 7,8 segundos (*frame* 235). Neste instante o indivíduo muda rapidamente a direcção do seu olhar para a sua direita, ficando a olhar nessa direcção até aos 8,7 segundos (*frame* 260), regressando novamente ao centro neste instante. O vídeo acaba com o indivíduo a iniciar o movimento da sua cabeça para a esquerda, continuando a olhar para o centro.

Nos gráficos apresentados nas figuras 6.2 e 6.3, encontra-se representada a variação da posição horizontal do olho esquerdo e do olho direito, respectivamente, ao longo do tempo, do vídeo descrito em cima.

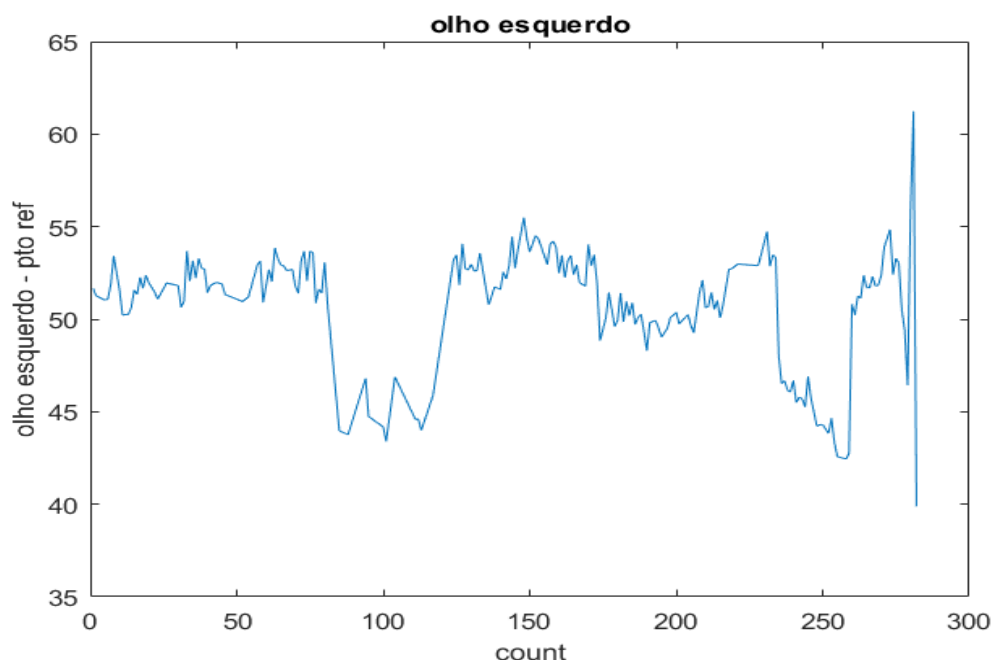


Figura 6.2: Gráfico da variação da posição no eixo do x do olho esquerdo

Relativamente aos movimentos verticais do vídeo em análise, o indivíduo em estudo começa por olhar para o centro, sendo que no instante 2,7 segundos (*frame* 81) sobe ligeiramente a posição dos olhos, voltando à posição base no instante 4,1 segundos (*frame* 123). No instante 4,8 segundos (*frame* 143), a posição dos olhos volta a subir ligeiramente até aos 5,8 segundos (*frame* 173). A posição base é recuperada, voltando a existir, logo a seguir, uma subida da posição dos olhos até ao instante 6 segundos (*frame* 182). Deste instante até aos 6,2 segundos (*frame* 187) ocorre uma descida da posição vertical dos olhos, recuperada no instante 6,9 segundos (*frame* 208). No instante 7,2 segundos (*frame* 216), começa a ocorrer uma ligeira descida da posição vertical dos olhos, recuperada no instante 7,8 (*frame* 235).

Nos gráficos apresentados nas figuras 6.4 e 6.5, encontra-se representada a variação da

6.1. RESULTADOS EM AMBIENTE E PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO CONTROLADOS

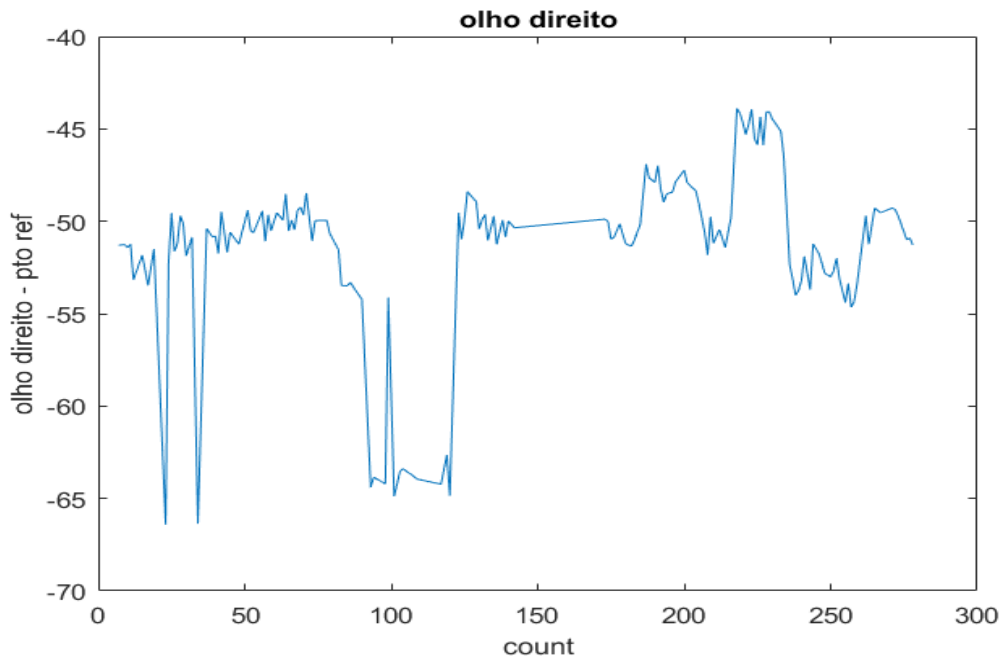


Figura 6.3: Gráfico da variação da posição no eixo do x do olho direito

posição vertical do olho esquerdo e do olho direito, respectivamente, ao longo do tempo, do vídeo descrito em cima.

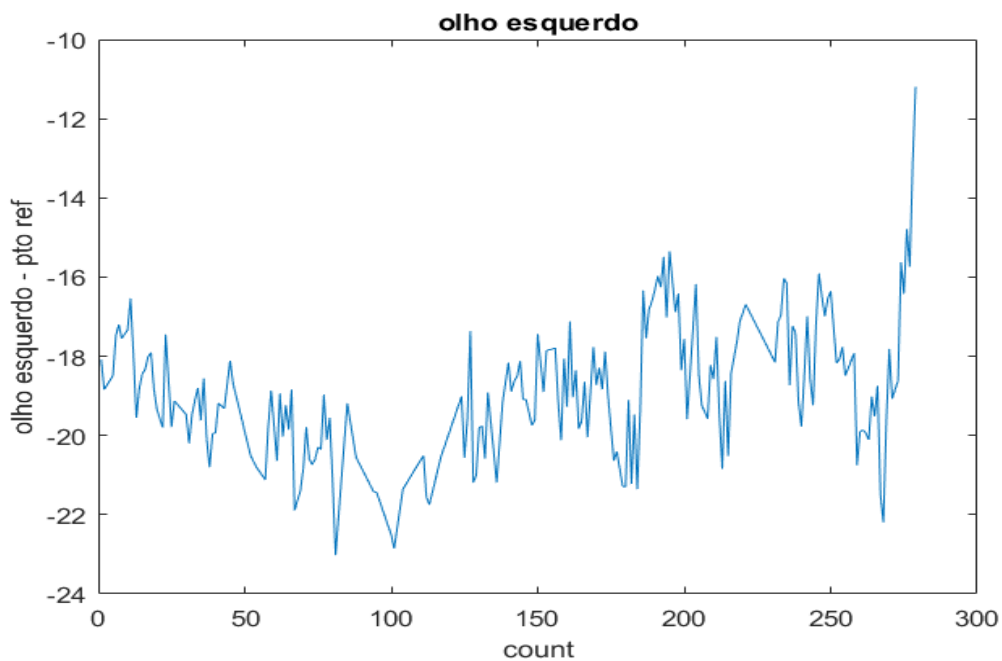


Figura 6.4: Gráfico da variação da posição no eixo do y do olho esquerdo

Em relação à variação da posição vertical, é possível verificar, através das figuras 6.4 e 6.5, que os gráficos são menos estáveis do que na direcção horizontal. Esta menor

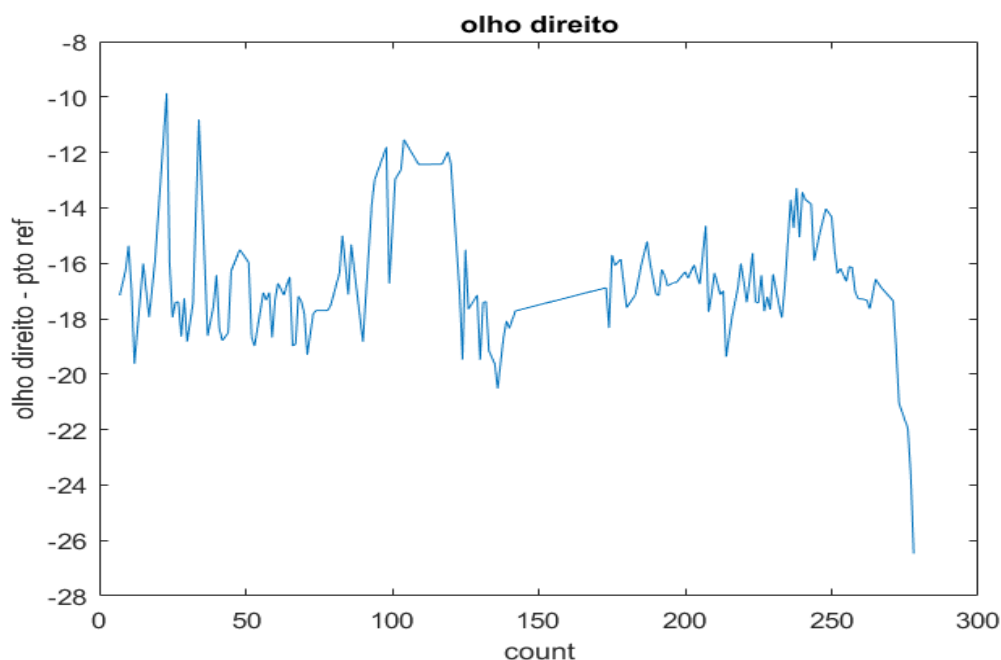


Figura 6.5: Gráfico da variação da posição no eixo do y do olho direito

estabilidade está relacionada com o facto de a forma do olho ser uma elipse horizontal. Ou seja, os movimentos horizontais possuem uma maior amplitude de movimentos possíveis do que os movimentos verticais.

As figuras que se seguem, 6.6, 6.7 e 6.8, são conjuntos de exemplos de um ponto no gráfico da variação da posição do olho esquerdo na horizontal com a sua respectiva *frame* no vídeo.

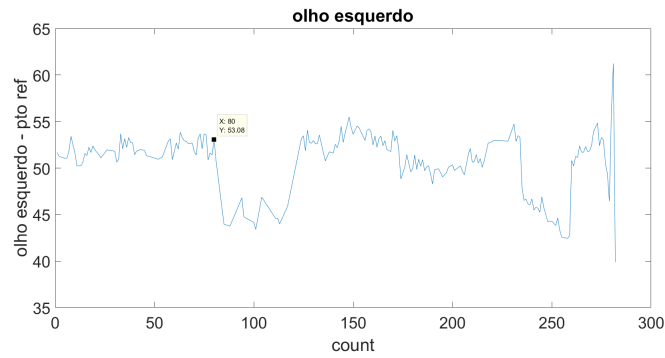
Na figura 6.6, o valor do eixo *y* do gráfico corresponde ao nível base, ou seja, quando o indivíduo se encontra a olhar para o centro. O nível base não tem o valor de zero porque corresponde a uma diferença entre dois pontos que nunca se sobrepõem. Não foi realizada um ajuste da linha de base, uma vez que esta diferença depende dos pontos marcados e das condições do vídeo e indivíduo, impedindo assim a automatização deste processo.

Através da comparação dos dois conjuntos de imagens correspondentes às *frames* 80 (figura 6.6) e 85 (figura 6.7) do vídeo em questão, é possível observar uma descida do valor no eixo dos *y* do gráfico. Tal acontece porque o indivíduo move o olho em direcção ao ponto de referência. É possível notar ainda que é mais fácil a detecção de um pico no gráfico quando o olho se aproxima do ponto de referência do que quando se afasta.

Ao comparar a figura 6.8 com a figura 6.6 é possível observar que ao olhar na direcção oposta à do ponto de referência, a diferença entre a posição do olho e o ponto de referência aumenta.

Na figura 6.9 está representado um exemplo de uma subida da posição vertical do olho esquerdo no vídeo, que deveria corresponder a uma descida no gráfico, o que não se verifica.

6.1. RESULTADOS EM AMBIENTE E PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO CONTROLADOS

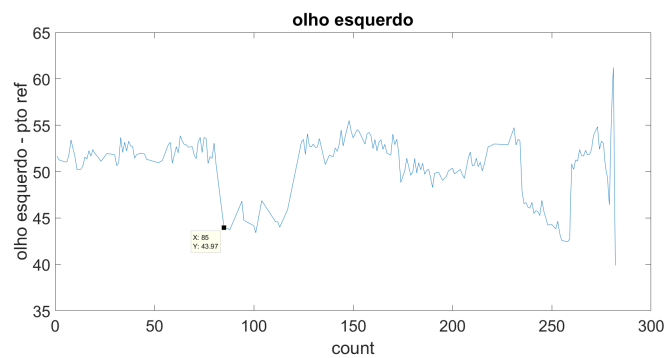


a Gráfico da variação horizontal do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 80

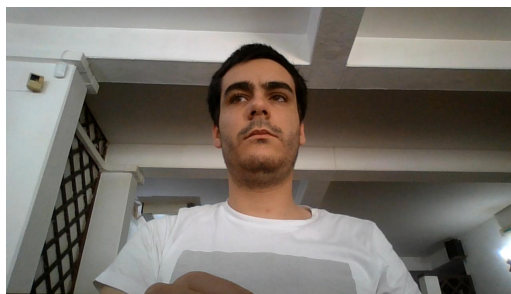


b *Frame* número 80 do vídeo

Figura 6.6: Gráfico e imagem referentes à *frame* 80

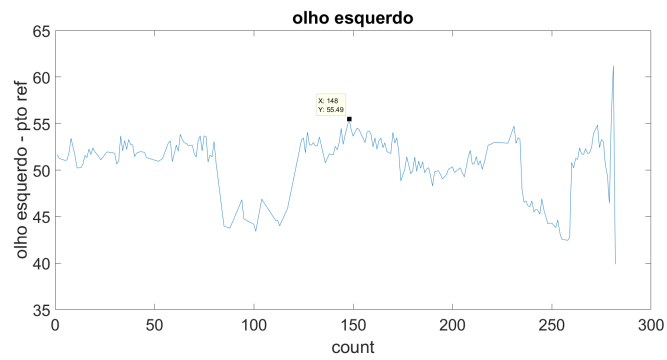


a Gráfico da variação horizontal do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 85



b *Frame* número 85 do vídeo

Figura 6.7: Gráfico e imagem referentes à *frame* 85

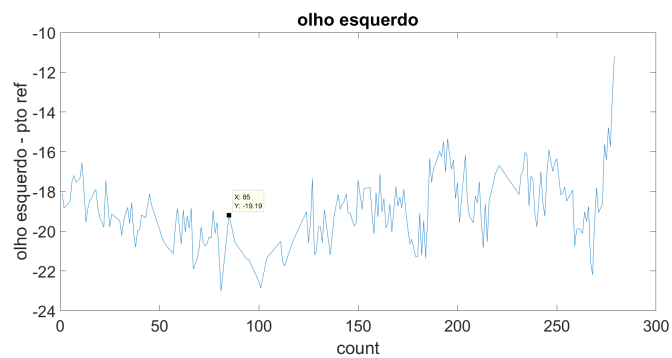


a Gráfico da variação horizontal do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 148

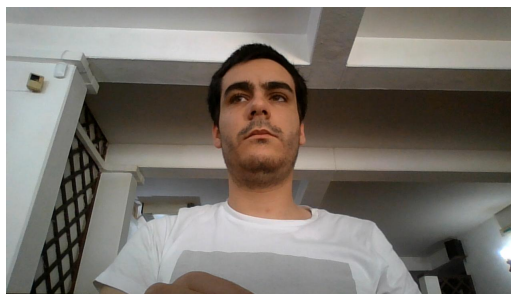


b *Frame* número 148 do vídeo

Figura 6.8: Gráfico e imagem referentes à *frame* 148



a Gráfico da variação vertical do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 85

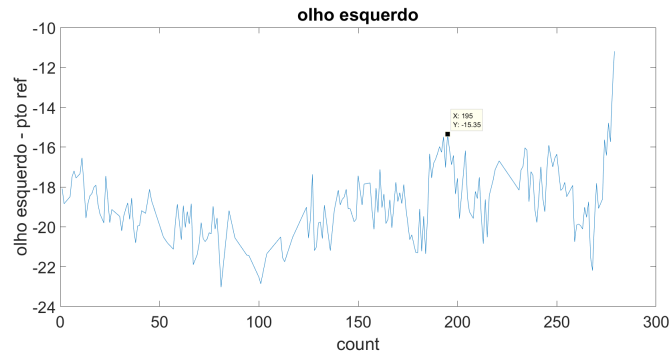


b *Frame* número 85 do vídeo

Figura 6.9: Gráfico e imagem referentes à *frame* 85

6.2. RESULTADOS OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO E SEM PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO

Na figura 6.10, o indivíduo encontra-se a olhar para baixo no vídeo, o que se traduz numa subida no gráfico, pois o olho aproxima-se do ponto de referência.



a Gráfico da variação vertical do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 195



b *Frame* número 195 do vídeo

Figura 6.10: Gráfico e imagem referentes à *frame* 195

6.2 Resultados obtidos em ambiente controlado e sem protocolo de aquisição

Neste sub-capítulo são apresentados exemplos de vídeo em que a sua aquisição decorreu em ambiente controlado, não existindo, no entanto, um protocolo de aquisição. Ou seja, os indivíduos em estudo eram livres de fazerem os movimentos com os olhos, cabeça e corpo que desejassem.

A luminosidade ambiente dos vídeos que se seguem foi controlada de forma a que incidisse de frente para o indivíduo em estudo.

Por motivos de privacidade, as caras presentes no vídeo foram desfocadas utilizando o *website* *Facepixelizer*, deixando apenas os olhos inalterados [36].

6.2.1 Indivíduo 1

O primeiro exemplo a ser apresentado consiste num vídeo de um indivíduo do sexo feminino, de olhos castanhos esverdeados e sem patologia. A distância entre o indivíduo e o

monitor foi cerca de 60 cm. O vídeo tem aproximadamente 29,1 segundos (aproximadamente 875 *frames*). O valor de binarização utilizado foi de 0,3 para os dois olhos.

O vídeo inicia com o sujeito em estudo a olhar para a sua esquerda, com a cabeça direita. Este muda a direcção do seu olhar para a direita, encontrando-se a olhar nesta direcção no instante 1,7 segundos (*frame* 51). Continuando a olhar nesta direcção, o indivíduo começa a inclinar a cabeça para o seu lado direito no instante 2,9 segundos (*frame* 88), acompanhando também este movimento com o seu corpo. O máximo desta inclinação ocorre no instante 5,7 segundos (*frame* 171). Neste instante, o indivíduo começa a recuperar o movimento da cabeça e do corpo para a posição central. No entanto, a cabeça e o corpo não chegam a recuperar a posição central e no instante 6,6 segundos (*frame* 198), ainda com a cabeça e corpo ligeiramente inclinados, o indivíduo em estudo passa a olhar para a sua esquerda.

De seguida, continuando a olhar nessa direcção, o indivíduo volta a inclinar a sua cabeça e corpo para a direita até ao instante 7,7 (*frame* 231). Aqui, a cabeça inclina-se ligeiramente para baixo e inicia-se o movimento de recuperação da posição central do corpo e da cabeça. A cabeça e o corpo encontram-se direitos no instante 9,6 segundos (*frame* 288) e o indivíduo encontra-se a olhar ligeiramente para a sua direita e para cima.

Depois deste instante o indivíduo começa a mover a sua cabeça e corpo para a esquerda e para trás, encontrando-se a olhar para a sua direita até aos 11,4 segundos (*frame* 344). Após este instante, muda a direcção do seu olhar para a esquerda.

No instante 12,8 segundos (*frame* 384), o sujeito começa a rodar a cabeça para a esquerda e no instante 13 segundos (*frame* 390) começa a inclinar o corpo nessa mesma direcção.

Aos 14,3 segundos (*frame* 430) e ainda com o corpo e cabeça inclinados para a esquerda, muda a direcção do olhar para a direita. Inicia-se então a recuperação da posição central da cabeça e corpo, continuando a olhar nesta direcção, que acaba no instante 16,1 segundos (*frame* 483). Deste instante até aos 17,5 segundos (*frame* 525) ocorre uma aproximação ao monitor e um inclinação do corpo e da cabeça para a direita. A partir deste momento, ocorre uma inclinação rápida do corpo para o lado contrário que atinge o máximo de amplitude aos 19,1 segundos (*frame* 574). Depois deste instante é iniciada a recuperação da posição central, sendo que no instante 20 segundos (*frame* 602) ocorre uma ligeira inclinação da cabeça para o lado direito. Entre este momento e os 20,4 (*frame* 614) a cabeça encontra-se direita. A partir deste instante, ocorre uma rotação do corpo para trás e para a esquerda, sendo que o indivíduo continua a olhar para a direita. A amplitude deste movimento do corpo é máxima nos 21,7 segundos (*frame* 652).

Inicia-se então a recuperação do movimento, sendo que a posição central é atingida nos 22,7 segundos (*frame* 681). A partir deste instante ocorre uma rotação da cabeça e uma inclinação do corpo para a direita que ocorre até aos 23,2 segundos (*frame* 696). A partir deste instante, a rotação da cabeça fica semelhante, ocorrendo um movimento do corpo para trás e para a esquerda até aos 24,2 segundos (*frame* 728). Entre os 23,5 segundos (*frame* 705) e os 24,4 segundos (*frame* 731) ocorre uma diminuição da luminosidade

ambiente.

Após os 24,2 segundos inicia-se a recuperação do movimento no sentido de se voltar à posição inicial que é atingida aos 26,4 segundos (*frame* 792). O indivíduo deixa de olhar para a direita e passar a olhar para cima e para a esquerda desde os 25,4 segundos (*frame* 764) até aos 26 segundos (*frame* 782).

No fim do vídeo, os olhos encontram-se direccionados para o centro, sendo que no instante 28,1 (*frame* 844), o indivíduo olha para cima e fica a olhar nesta direcção até ao fim do vídeo.

Nos gráficos representados nas figuras 6.11 e 6.12, encontra-se representada a variação da posição horizontal do olho esquerdo e do olho direito, respectivamente, ao longo do tempo, do vídeo descrito em cima.

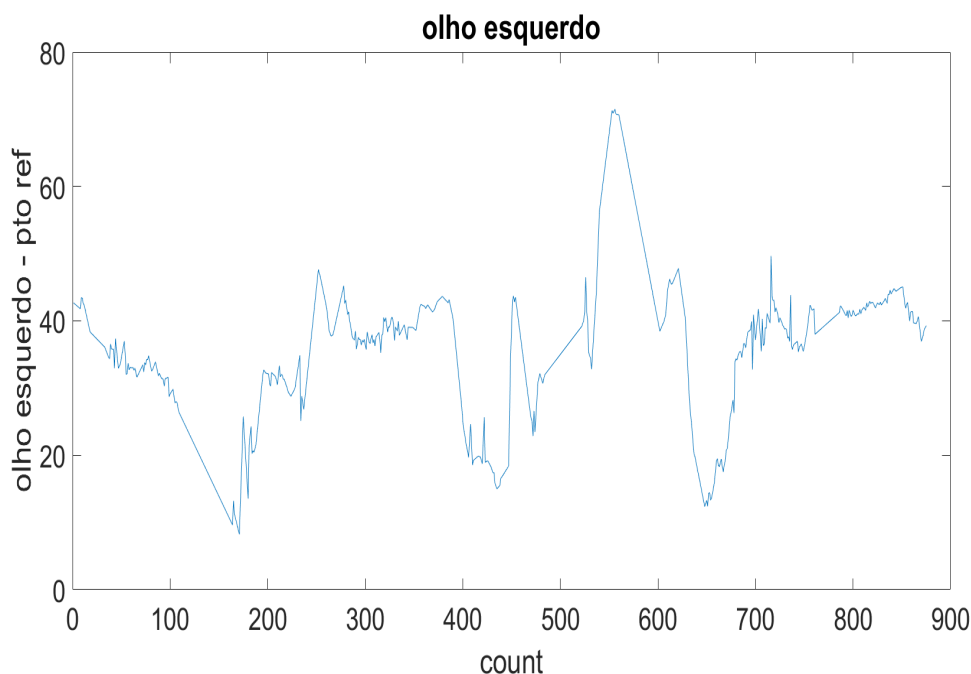


Figura 6.11: Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo

Nos gráficos representados nas figuras 6.13 e 6.14, encontra-se representada a variação da posição vertical do olho esquerdo e do olho direito, respectivamente, ao longo do tempo, do vídeo descrito em cima.

As figuras que se seguem são exemplos de uma frame no vídeo com o respectivo ponto no gráfico de um dos olhos, numa das posições.

Na figura 6.15, o indivíduo encontra-se a olhar para a direita. Como o gráfico representado nesta figura corresponde à variação da posição horizontal do olho direito, este movimento ocular corresponde a uma descida no gráfico, pois como a cabeça e o corpo não se moveram, o valor da posição do olho vai diminuir e o valor do ponto de referência mantém-se constante.

Na figura 6.16, encontra-se representado o gráfico da variação da posição horizontal

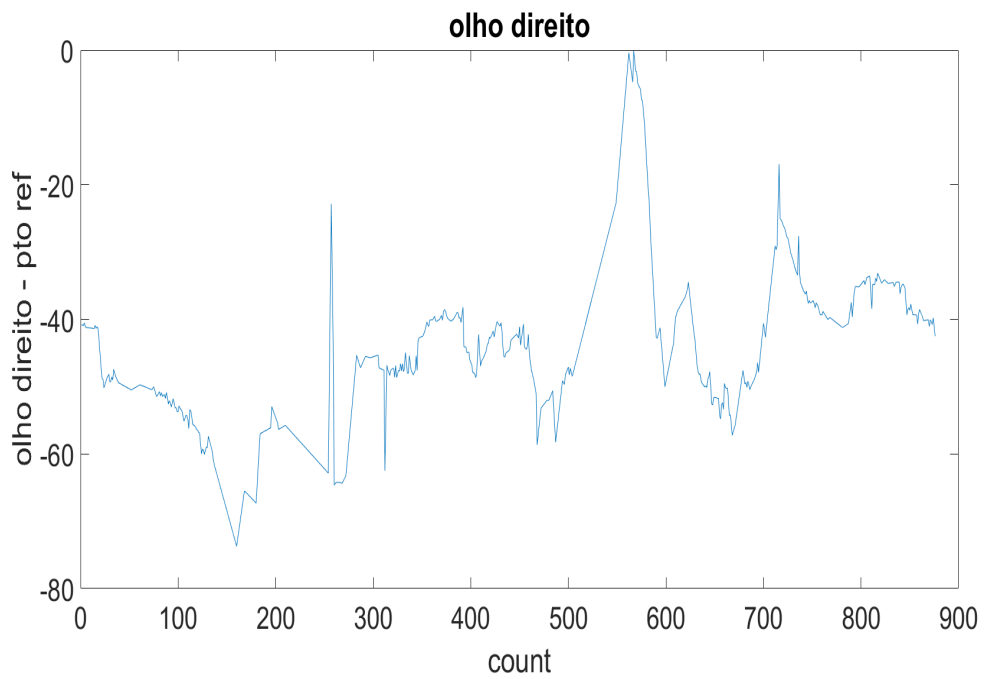


Figura 6.12: Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito

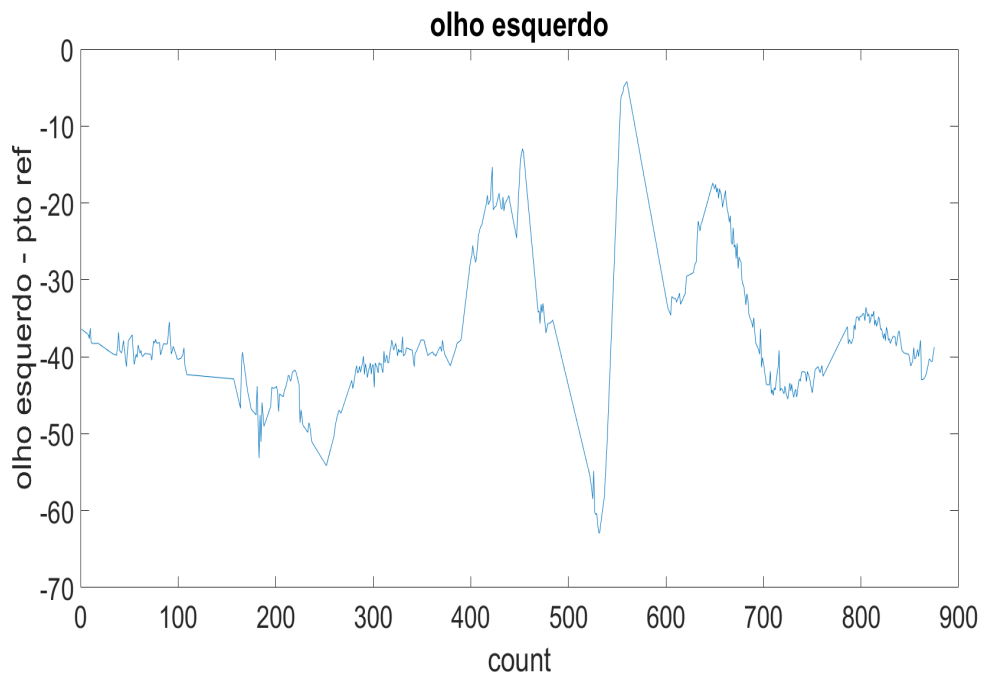


Figura 6.13: Gráfico da variação da posição no eixo do y do olho esquerdo

6.2. RESULTADOS OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO E SEM PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO

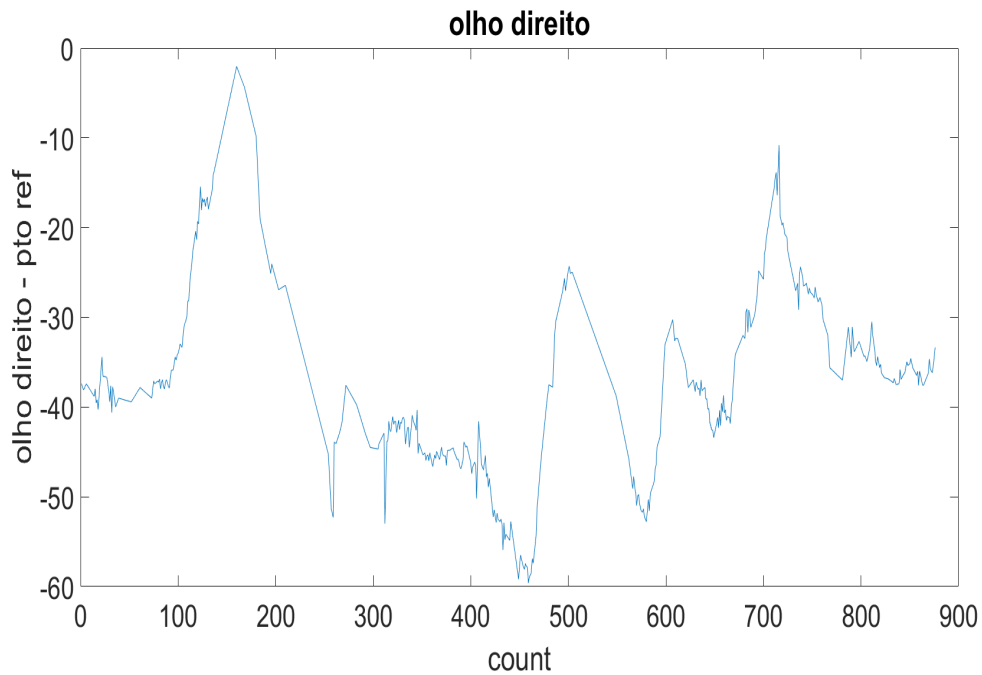
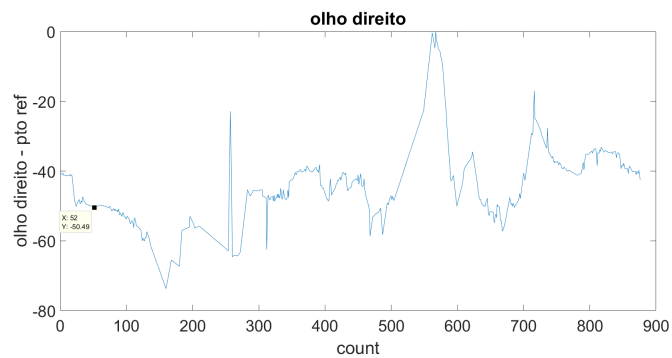
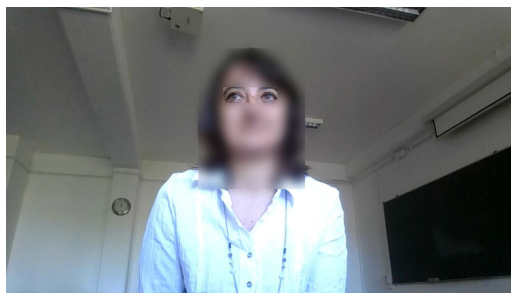


Figura 6.14: Gráfico da variação da posição no eixo do y do olho direito



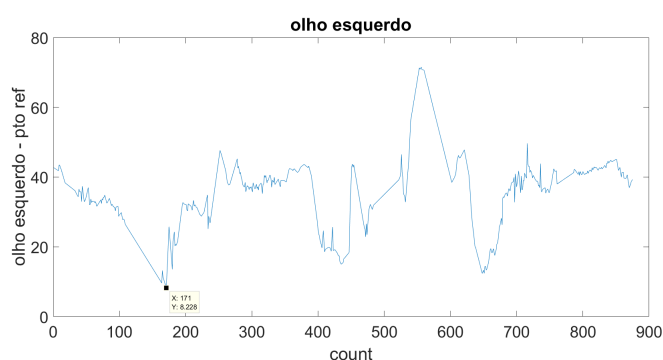
a Gráfico da variação horizontal do olho direito, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 52



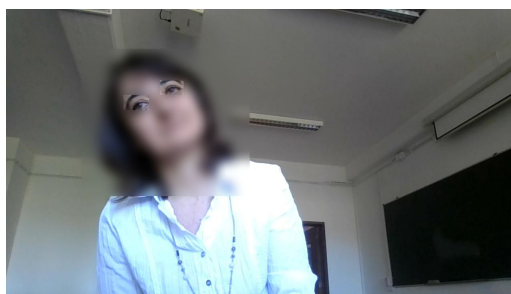
b *Frame* número 52 do vídeo

Figura 6.15: Gráfico e imagem referentes à *frame* 52

do olho esquerdo e a *frame* correspondente ao ponto marcado nesse mesmo gráfico. É possível observar que o indivíduo está a olhar para a direita e a sua cabeça e corpo encontram-se também inclinados nesta direcção. O facto de o seu olhar se encontrar para a direita leva a uma diminuição do gráfico, pois o olho esquerdo aproxima-se do ponto de referência. Para além disto, este movimento da cabeça e do corpo leva a uma diminuição da diferença entre os valores em x da posição do olho e do ponto de referência, ficando estes mais próximos um do outro. Foi nesta *frame* que ocorreu o máximo da amplitude do movimento do corpo do indivíduo, sendo representado no gráfico como o valor mínimo nesse intervalo de tempo.



a Gráfico da variação horizontal do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 171



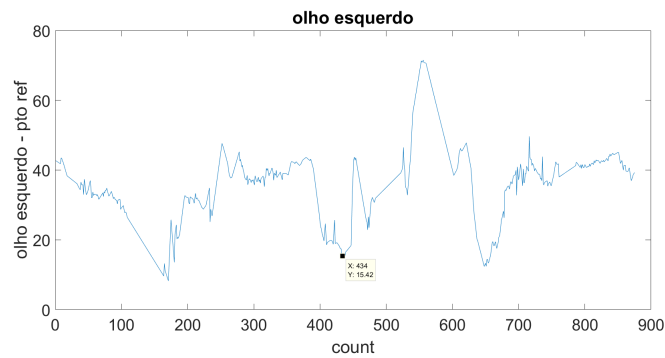
b *Frame* número 171 do vídeo

Figura 6.16: Gráfico e imagem referentes à *frame* 171

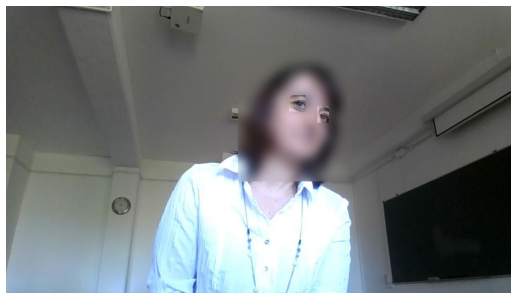
Na figura 6.17, encontra-se representada a *frame* 434 do vídeo e o ponto correspondente no gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo. Como o indivíduo se encontra a olhar para a direita, ocorre uma aproximação do olho com o ponto de referência, diminuindo a diferença entre estes. Para além disto, a rotação horizontal da cabeça contribui para a aproximação destes pontos, que leva a uma diminuição da diferença.

Na figura 6.18, encontra-se representada a variação vertical do olho direito, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 768. Como o indivíduo se encontra a olhar para cima, o valor da posição vertical do olho diminui, o que leva a que a diferença entre o olho e ponto de referência aumente.

6.2. RESULTADOS OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO E SEM PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO

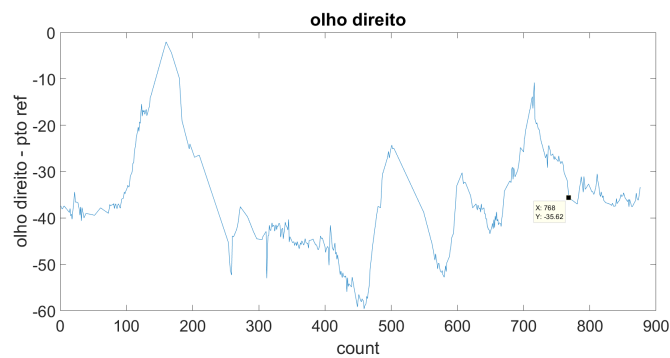


a Gráfico da variação horizontal do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 434

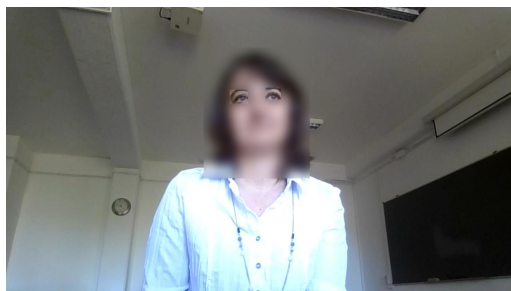


b *Frame* número 434 do vídeo

Figura 6.17: Gráfico e imagem referentes à *frame* 434



a Gráfico da variação vertical do olho direito, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 768



b *Frame* número 768 do vídeo

Figura 6.18: Gráfico e imagem referentes à *frame* 768

6.2.2 Indivíduo 2

O indivíduo em estudo neste vídeo é do sexo feminino, de olhos castanhos esverdeados e sem patologia. Encontra-se sentado confortavelmente a cerca de 60 cm do ecrã. O vídeo tem uma duração de 17,7 segundos (532 *frames*). O valor de binarização utilizado foi de 0,42 para os dois olhos.

Quando o vídeo é iniciado, o indivíduo em estudo encontra-se a olhar para a sua direita e com a cabeça e corpo direitos. Aos 0,9 segundos (*frame* 27) começa a olhar ligeiramente para cima, sendo que a amplitude máxima ocorreu aos 1,1 segundos (*frame* 33). Aos 1,4 segundos (*frame* 42), o indivíduo muda a direcção do seu olhar para a esquerda e para cima. No instante 1,6 segundos (*frame* 48), o sujeito começa a rodar a cabeça para a esquerda e a partir dos 2,8 segundos (*frame* 84) inclina ligeiramente esta para a esquerda.

No instante 4,1 segundos (*frame* 123) começa a fazer a rotação da cabeça no sentido inverso (lado direito), sendo que a rotação máxima ocorre no instante 6,5 segundos (*frame* 195). Durante este movimento, o indivíduo muda a direcção do seu olhar para a direita e para cima aos 4,8 segundos (*frame* 144).

Aos 7,5 segundos (*frame* 225), o indivíduo encontra-se a olhar para o centro com a cabeça e corpo direitos.

No instante 9,4 segundos (*frame* 282), o indivíduo passa a olhar para cima, acompanhando este movimento também com a cabeça.

Aos 10,8 segundos (*frame* 324), a posição vertical dos olhos desce ligeiramente e no instante 12,1 segundos (*frame* 363) o indivíduo passa a olhar para a esquerda. A partir deste instante, é iniciada uma rotação da cabeça para o lado esquerdo, olhando na mesma direcção até aos 12,7 segundos (*frame* 381). Neste instante temporal, o indivíduo passa a olhar para uma posição mais central, que dura até aos 13,4 segundos (*frame* 402). Aqui, volta novamente a olhar para a esquerda e para cima. Esta direcção dos olhos mantém-se até aos 17,2 segundos (*frame* 517).

Dos 17,2 segundos até ao fim do vídeo, o indivíduo muda a direcção do seu olhar para a direita e começa a rodar a cabeça nessa mesma direcção.

Nas figuras 6.19 e 6.20 encontram-se representados sob a forma de gráfico a variação da posição horizontal do olho esquerdo e do olho direito, respectivamente.

Nas figuras 6.21 e 6.22 encontram-se representados sob a forma de gráfico a variação da posição vertical do olho esquerdo e do olho direito, respectivamente.

Os exemplos que se seguem são conjuntos de gráficos da variação de uma das posições de um dos olhos com a respectiva *frame*.

Na figura 6.23, estão representados o gráfico da variação horizontal do olho direito, com a marcação do ponto relativo à *frame* 147 e a respectiva imagem do vídeo. O indivíduo encontra-se a olhar para o lado direito, ou seja, ocorre um afastamento do olho direito ao ponto de referência. Na figura 6.24, estão representados o gráfico da variação horizontal do olho direito, com a marcação do ponto relativo à *frame* 195 e a respectiva imagem do vídeo. O indivíduo encontra-se a olhar para a direita, no entanto, ocorreu uma

6.2. RESULTADOS OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO E SEM PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO

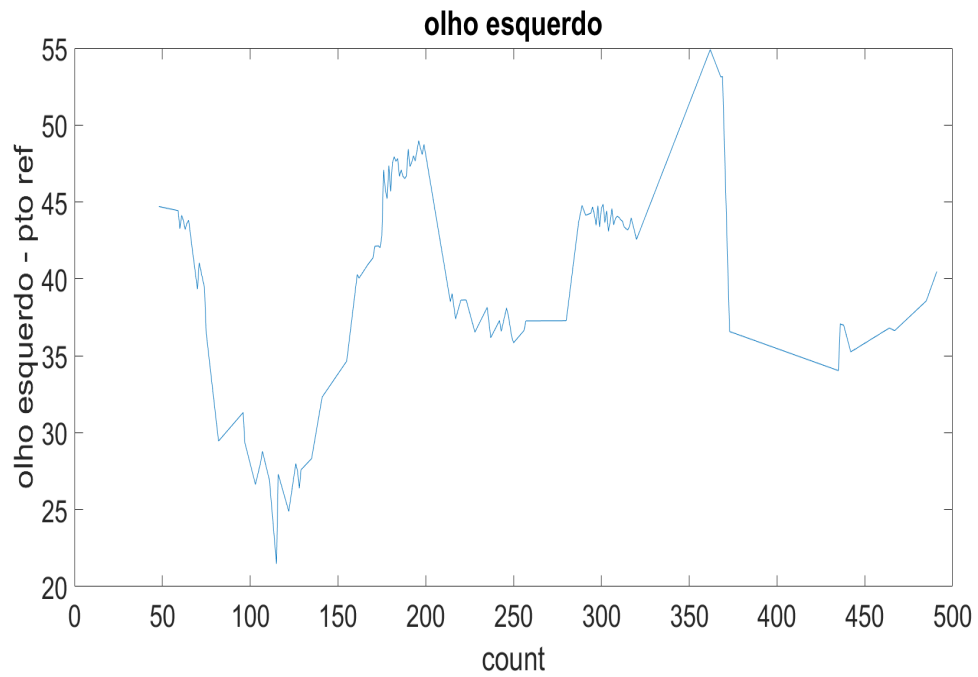


Figura 6.19: Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo

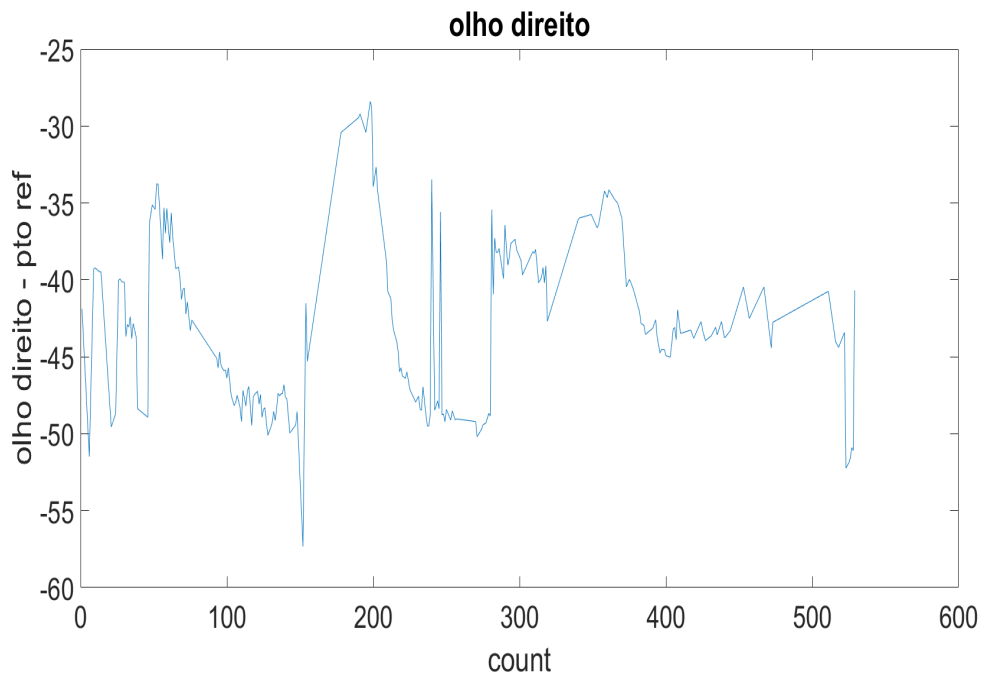


Figura 6.20: Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito

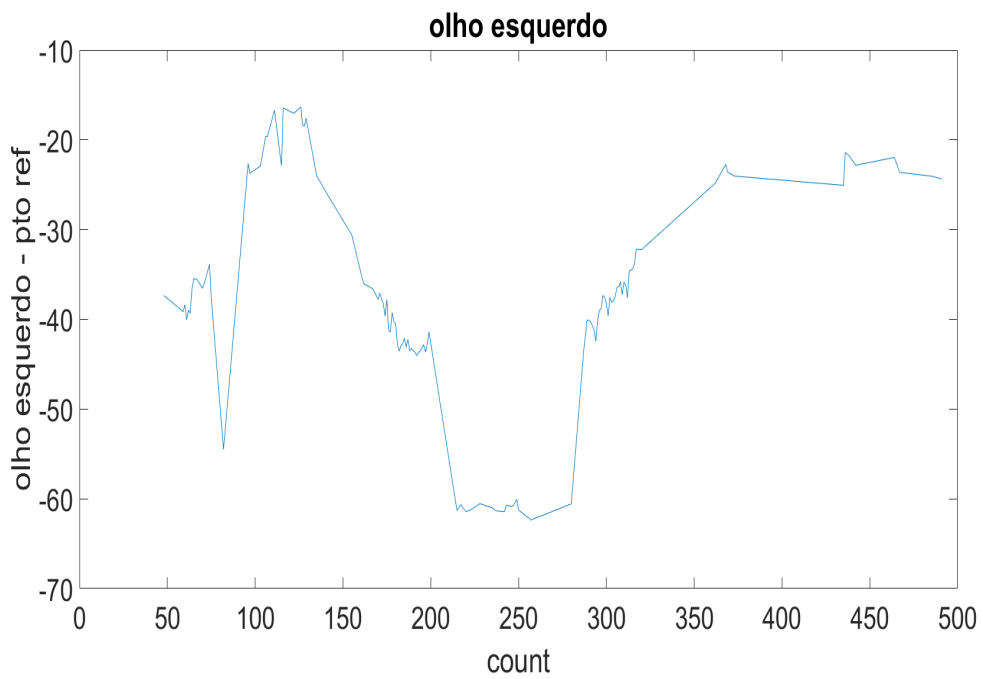


Figura 6.21: Gráfico da variação da posição vertical do olho esquerdo

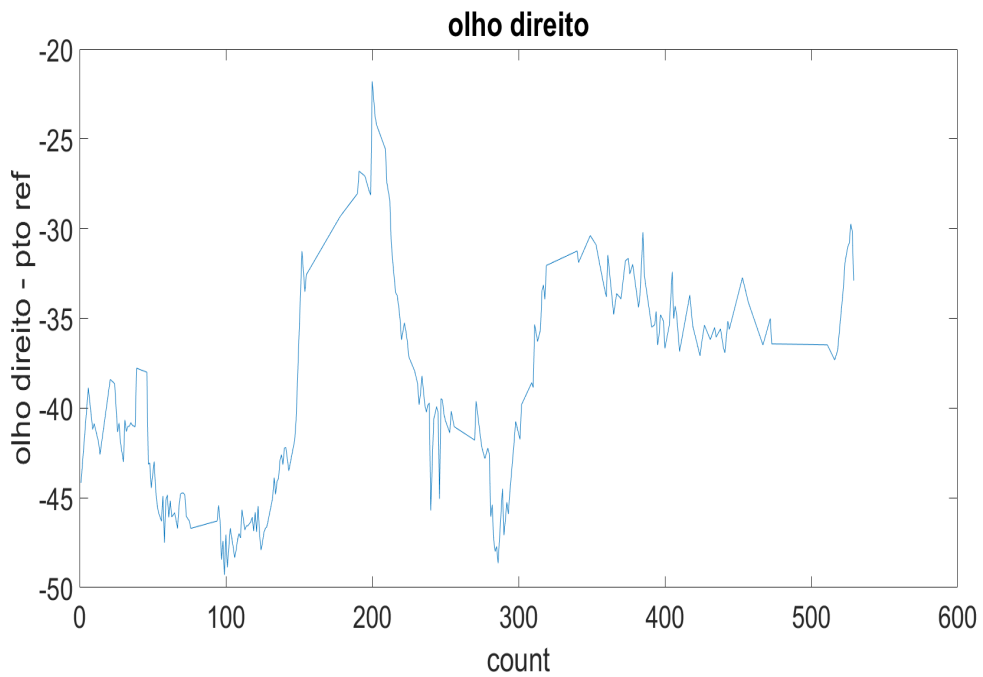
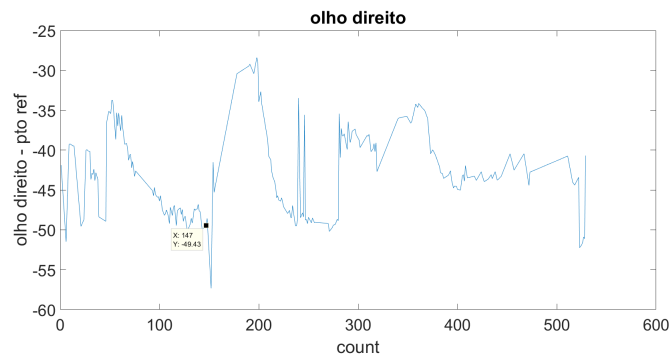


Figura 6.22: Gráfico da variação da posição vertical do olho direito

6.2. RESULTADOS OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO E SEM PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO



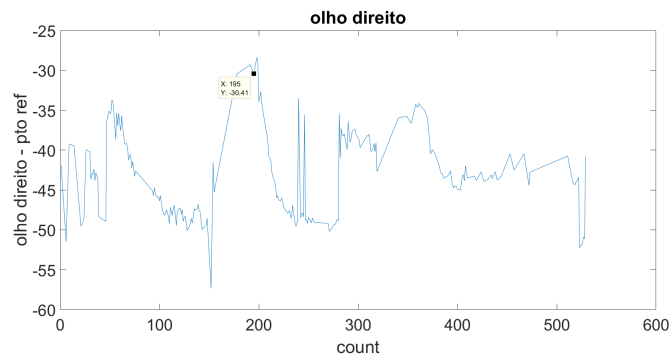
a Gráfico da variação horizontal do olho direito, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 147



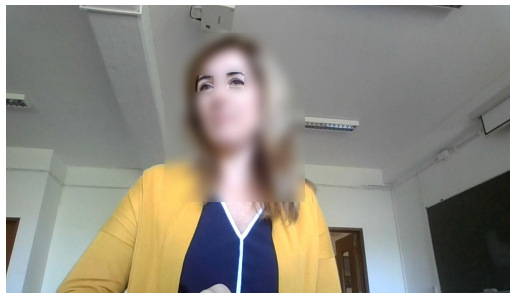
b *Frame* número 147 do vídeo

Figura 6.23: Gráfico e imagem referentes à *frame* 147

rotação da cabeça para a direita quando comparada com a figura 6.23, em que o indivíduo se encontrava a olhar na mesma direção. É portanto evidente o efeito da rotação da cabeça, que leva a uma diminuição bastante significativa da distância do olho direito ao ponto de referência. Aproximadamente entre a *frame* 200 e a *frame* 275, a diferença da posição vertical entre o olho esquerdo e o ponto de referência aumenta significativamente (6.21), sendo posteriormente revertida. Na figura 6.25, pode perceber-se a razão desta variação, uma vez que durante este intervalo de tempo esteve a ser detectada a sobrancelha esquerda em vez do olho (6.25a). Após este intervalo de tempo, o olho volta a ser correctamente detectado pelo *eyetracker* (6.25b), que leva à redução da distância entre o ponto relativo ao olho esquerdo e o ponto de referência. Este efeito também serve de explicação para o que ocorre nas mesmas *frames* para a posição horizontal deste olho (6.19).

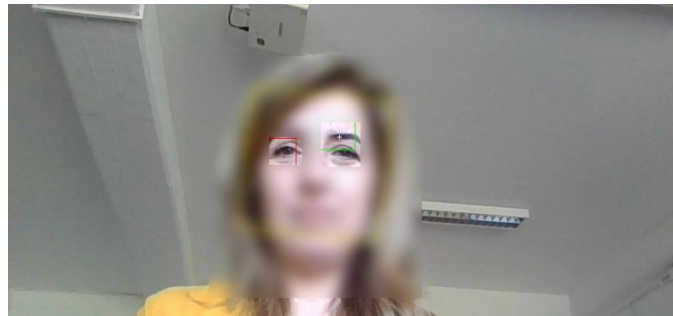


a Gráfico da variação horizontal do olho direito, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 195

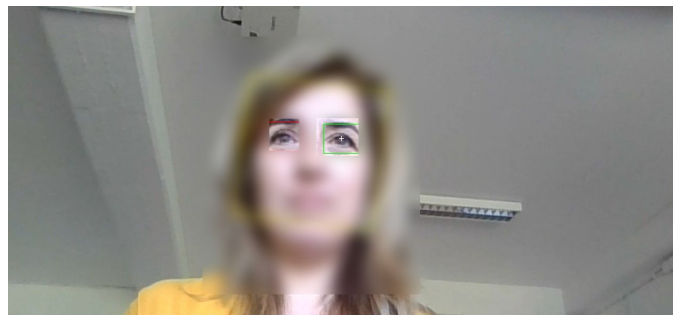


b *Frame* número 195 do vídeo

Figura 6.24: Gráfico e imagem referentes à *frame* 195



a *Frame* número 228 do vídeo



b *Frame* número 295 do vídeo

Figura 6.25: Imagens referentes às *frames* 228 e 295, retiradas do *eyetracker*

6.2.3 Indivíduo 3

O indivíduo em estudo é do sexo masculino, com olhos castanhos e sem patologia. A distância entre si e o monitor é cerca de 60 cm. O valor de binarização utilizado para os dois olhos foi de 0,5 para os dois olhos.

O vídeo tem uma duração de 22,2 segundos (aproximadamente 667 *frames*)

O sujeito começa o vídeo a olhar para o centro do ecrã. No segundo 1 (*frame* 36) muda a direcção do seu olhar para a esquerda. Fica a olhar nesta direcção até aos 2 segundos (*frame* 60) e neste instante volta a olhar para o centro.

No instante 2,4 segundos (*frame* 72), ocorre um movimento dos olhos para a direita e aos 3,1 segundos (*frame* 93), a direcção horizontal é mantida, mas com o indivíduo a olhar também para cima. Aos 4,1 segundos (*frame* 123), a direcção vertical é recuperada para o centro.

Aos 5 segundos (*frame* 150) do vídeo, o indivíduo volta a olhar para cima, mantendo-se ainda a olhar para a direita.

No instante 5,5 segundos (*frame* 165), o indivíduo move os olhos para a esquerda e para baixo. A partir deste instante até aos 6,5 segundos (*frame* 195), a direcção do olhar do sujeito vai subindo ligeiramente.

Aos 6,6 segundos (*frame* 198) é iniciada uma rotação da cabeça para a esquerda que atinge a sua amplitude máxima aos 7,4 segundos (*frame* 222). Neste instante é iniciada uma inclinação da cabeça para o lado esquerdo que é máxima nos 9,2 segundos (*frame* 276).

Entre os 9,2 segundos e os 9,7 segundos (*frame* 291), o indivíduo mantém a sua cabeça nesta posição e neste último instante começa a realizar uma rotação rápida da cabeça para a direita, acompanhada por uma mudança do olhar também para a direita. A amplitude máxima do movimento ocorre aos 10,6 segundos (*frame* 318) e a cabeça fica nesta posição até aos 10,9 segundos (*frame* 327).

Aos 10,9 segundos, é iniciada uma rotação da cabeça para a esquerda e, durante o movimento, os olhos também se movem para a esquerda. Os dois movimentos acabam no instante 12 segundos (*frame* 360), momento em que o indivíduo se encontra a olhar para o centro com a cabeça direita.

O sujeito permanece nesta posição até aos 13,1 segundos (*frame* 393). Neste instante, os olhos movem-se para a esquerda e para cima.

Aos 13,5 segundos (*frame* 405) é realizada uma ligeira rotação da cabeça para a esquerda, sendo que esta termina nos 13,8 segundos (*frame* 414).

No instante 14,6 segundos (*frame* 438), o indivíduo continua a olhar para a esquerda, mas ocorre um deslocamento da posição vertical dos olhos para baixo.

O sujeito em estudo volta a olhar para cima e para a esquerda no instante 15,1 segundos (*frame* 453), movendo os olhos ligeiramente para a direita aos 15,8 segundos (*frame* 474). Neste instante, começa a realizar uma ligeira rotação da cabeça para a direita, mantendo a direcção do olhar.

Aos 17,1 segundos (*frame* 513), já se encontra com a cabeça direita e a olhar para o centro.

No instante 17,5 segundos (*frame* 526), move ligeiramente os olhos para cima.

Aos 18,7 segundos (*frame* 562) começa uma pequena rotação da cabeça para a direita que termina aos 19,3 segundos (*frame* 580). Durante este movimento, mais precisamente no instante 19,2 (*frame* 577), ocorre uma alteração da direcção do olhar para a direita, mantendo-se a olhar para cima. Aos 20 segundos (*frame* 600), o indivíduo volta a olhar para a esquerda, mantendo os olhos nesta posição até ao fim do vídeo.

Nas figuras 6.26 e 6.27 encontram-se representados sob a forma de gráfico a variação da posição horizontal do olho esquerdo e do olho direito, respectivamente.

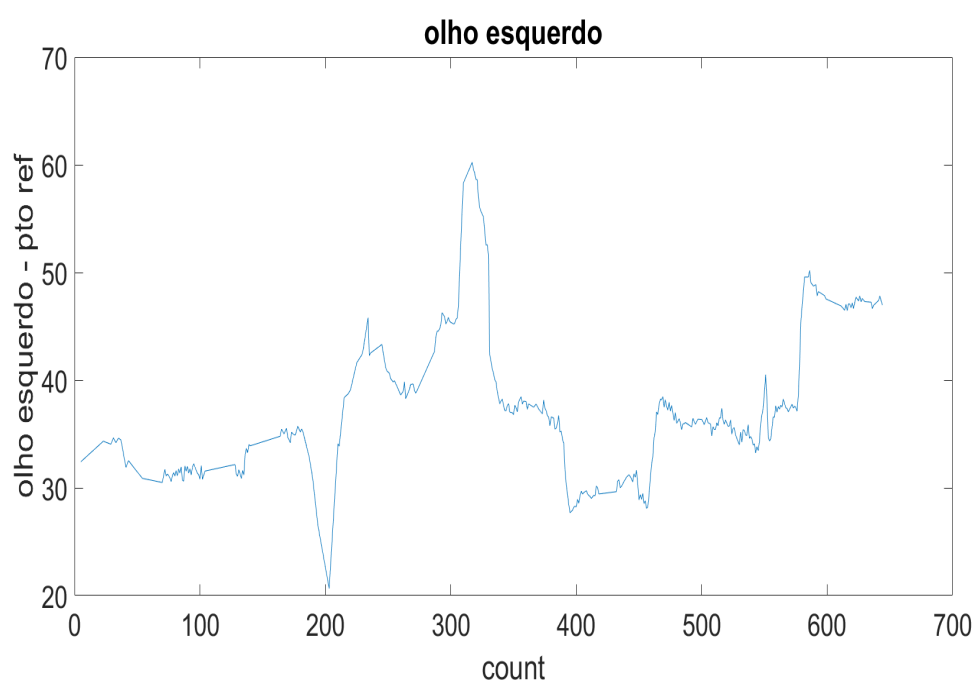


Figura 6.26: Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo

Nas figuras 6.28 e 6.29 encontram-se representados sob a forma de gráfico a variação da posição vertical do olho esquerdo e do olho direito, respectivamente.

Através da análise dos instantes iniciais da variação vertical e horizontal do olho direito, é possível verificar que este não foi detectado até à *frame* 170, aproximadamente. Neste intervalo de tempo, o olho direito do indivíduo tem pouca esclera visível e os filtros utilizados levam a que se gere uma forma do olho não detectável pela função *imfindcircles*. No entanto, estes filtros foram mantidos porque eram os mais adequados na maior parte do vídeo em análise.

Os exemplos que se seguem são conjuntos de gráficos da variação de uma das posições de um dos olhos com a respectiva *frame*.

Na figura 6.30 é possível verificar, através da análise do ponto correspondente à *frame* 93 do gráfico e da imagem do vídeo, que ocorreu uma descida no gráfico resultante

6.2. RESULTADOS OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO E SEM PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO

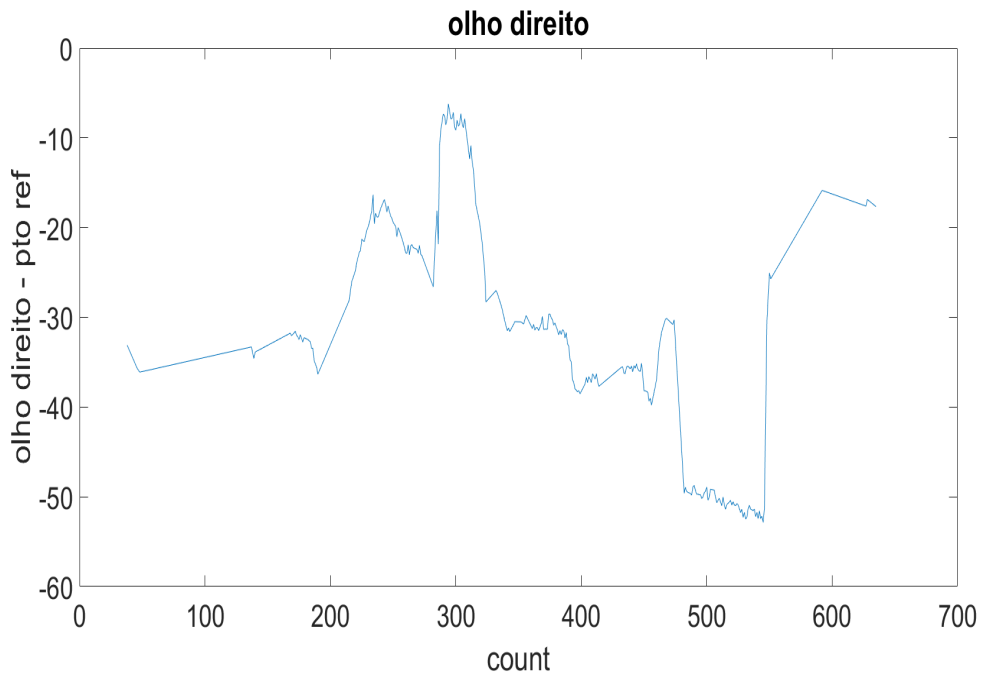


Figura 6.27: Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito

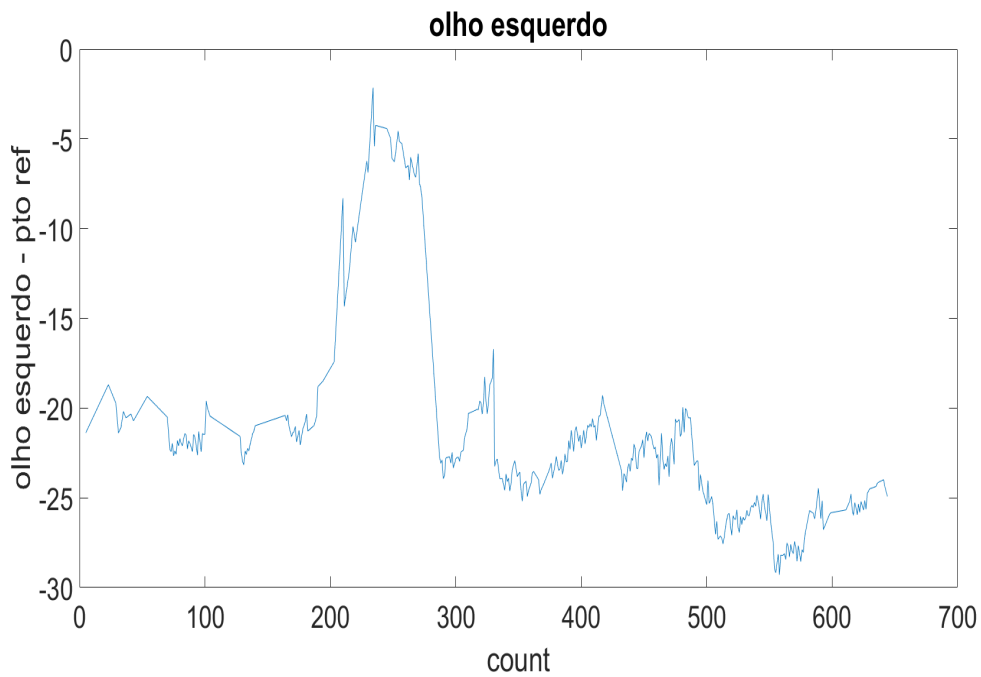


Figura 6.28: Gráfico da variação da posição vertical do olho esquerdo

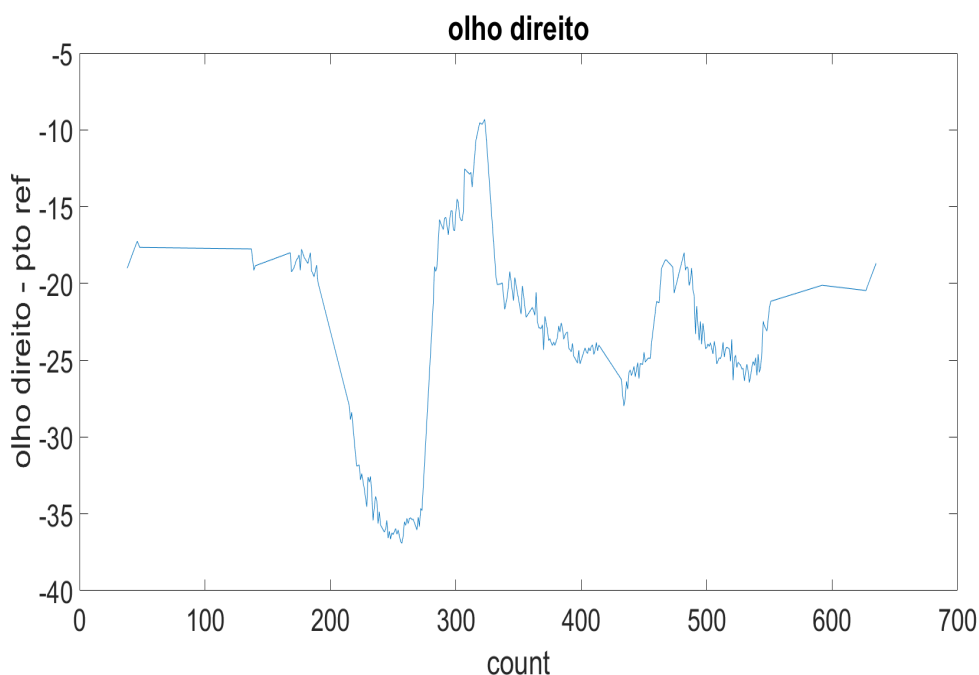


Figura 6.29: Gráfico da variação da posição vertical do olho direito

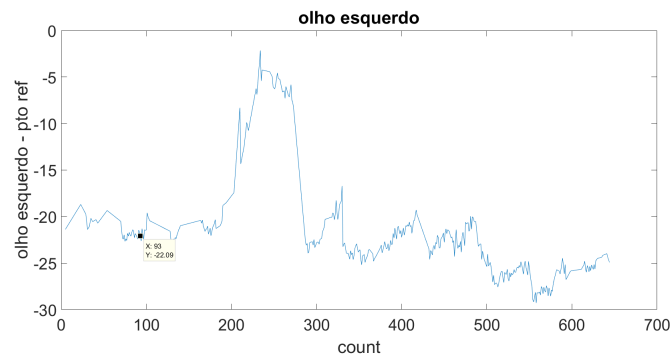
do afastamento do olho esquerdo relativamente ao ponto de referência. No entanto, é também possível verificar que nas *frames* anteriores os valores já se encontravam próximos aos da *frame* 93. Ou seja, desde, aproximadamente, da *frame* 72 até à 93 existiu uma má detecção da posição vertical do olho esquerdo, o que demonstra que a detecção vertical não é tão estável como a horizontal.

Na figura 6.31, é possível verificar que a mudança da direcção do olhar para a esquerda leva a uma subida no gráfico, pois o olho esquerdo afasta-se do ponto de referência.

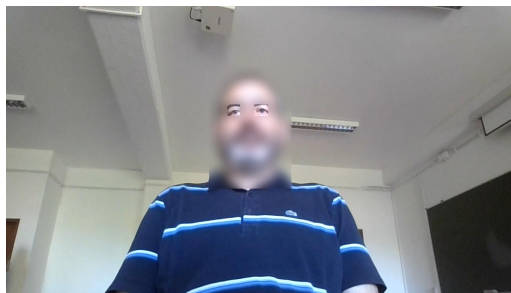
Na figura 6.32, é possível observar os gráficos da variação horizontal do olho esquerdo e direito, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 234 do vídeo e a imagem dessa mesma *frame*. Como o indivíduo se encontra a olhar para a esquerda, o olho esquerdo afasta-se do ponto de referência, aumentando a diferença entre estes, enquanto que o olho direito se aproxima do ponto de referência, diminuindo a diferença entre estes. Nesta *frame* ocorre um pico em ambos os gráficos porque, para além da direcção do olhar, ocorreu uma inclinação da cabeça para a esquerda, o que leva a uma diminuição da distância do olho direito ao ponto de referência e a um aumento da distância do olho esquerdo ao ponto de referência.

Na figura 6.33, encontra-se representado o gráfico da variação horizontal do olho direito, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 495 e a respectiva *frame* do vídeo. Nesta situação, o indivíduo encontra-se a olhar para o centro, contudo no gráfico é possível observar que existe uma grande diferença entre o olho direito e o ponto de referência. Tal aconteceu, porque entre as *frames* 480 e 545, aproximadamente, não foi possível detectar o olho, tendo sido detectada a sombra da parte exterior do mesmo. No

6.2. RESULTADOS OBTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO E SEM PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO

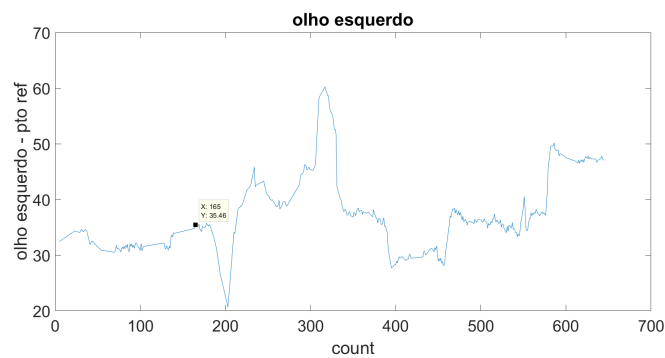


a Gráfico da variação vertical do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 93

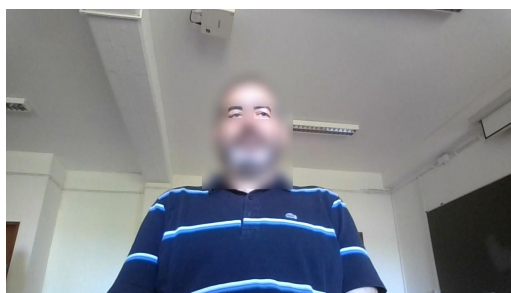


b *Frame* número 93 do vídeo

Figura 6.30: Gráfico e imagem referentes à *frame* 93

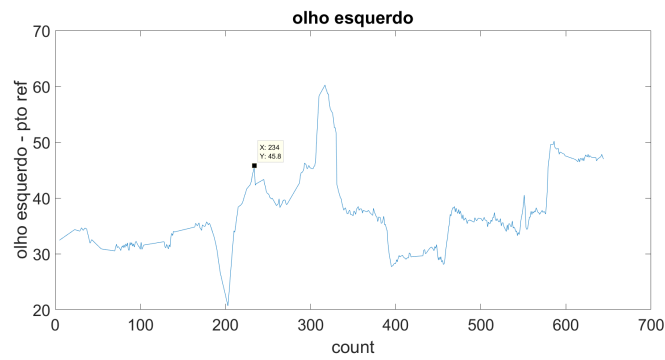


a Gráfico da variação horizontal do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 165

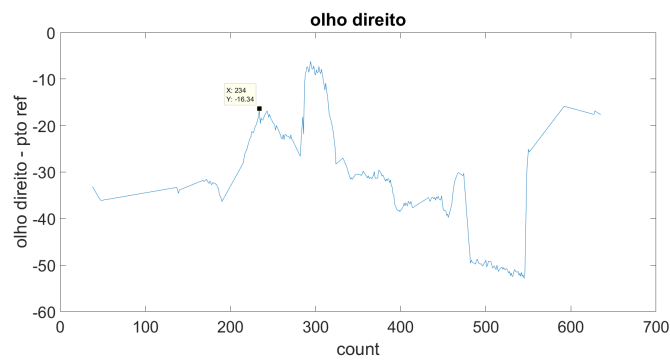


b *Frame* número 165 do vídeo

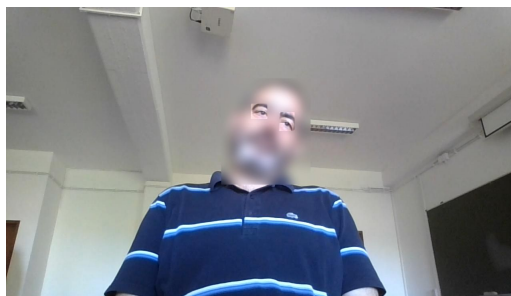
Figura 6.31: Gráfico e imagem referentes à *frame* 165



a Gráfico da variação horizontal do olho esquerdo, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 234



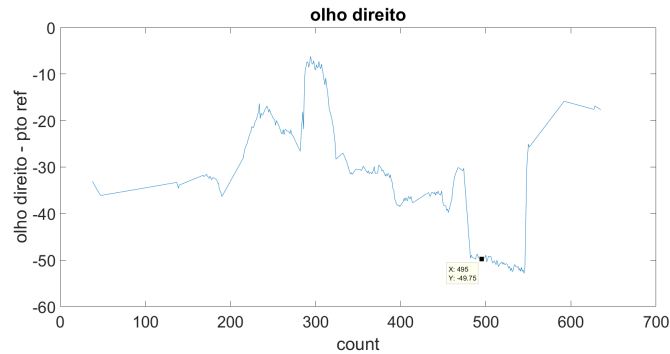
b Gráfico da variação horizontal do olho direito, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 234



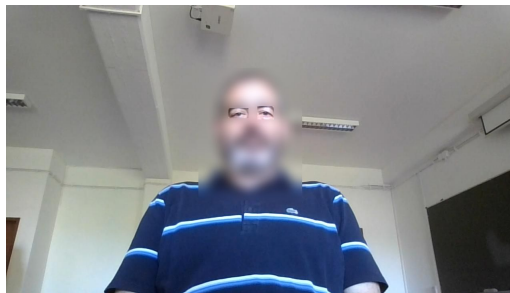
c *Frame* número 234 do vídeo

Figura 6.32: Gráfico e imagem referentes à *frame* 234

início deste intervalo de tempo, o olho do indivíduo apresenta pouca esclera visível, o que levou a que nesta situação houvesse uma sobreposição da íris e pupila com esta sombra na imagem binarizada. Assim, o que foi detectado foi esta sobreposição e não o centro do olho. O comparador utilizado detecta o círculo mais próximo do obtido na *frame* anterior, pelo que ao detectar uma vez a sombra, não conseguiu detectar o centro do olho nas *frames* subsequentes, uma vez que a sombra correspondia ao círculo mais próximo.



a Gráfico da variação horizontal do olho direito, com a marcação do ponto correspondente à *frame* 495



b *Frame* número 495 do vídeo

Figura 6.33: Gráfico e imagem referentes à *frame* 495

6.3 Resultados obtidos na população alvo

Neste sub-capítulo são apresentados os resultados dos estímulos mais relevantes relativos a duas sessões com duas crianças utilizando a plataforma *RehabVisual*. O primeiro (sub-capítulo 6.3.1) é referente a uma criança de dois anos e o segundo (sub-capítulo 6.3.2) corresponde uma criança de um ano. Por motivos de privacidade, as caras presentes no vídeo foram desfocadas utilizando o *website Facepixelizer*, deixando apenas os olhos inalterados [36].

6.3.1 Criança com dois anos de idade

Esta sessão foi realizada com uma criança de dois anos de idade, sem patologias conhecidas e de olhos escuros. Esta encontrava-se sentada ao colo de um adulto a cerca de 60 cm

do ecrã, com luminosidade a incidir lateralmente no lado direito do indivíduo em estudo. O valor de binarização utilizado para os dois olhos foi de 0,26.

O estímulo utilizado nesta gravação consiste num círculo azul, que aparece no centro do ecrã e reaparece no topo deste, iniciando então um movimento circular rápido, no sentido dos ponteiros do relógio. Este realiza três voltas completas, desaparecendo durante aproximadamente 3 segundos entre o fim de uma volta e o início da seguinte. A sequência de eventos repete-se, sendo que o círculo reaparece sempre no centro do ecrã, antes de iniciar a próxima volta. O estímulo iniciou-se simultaneamente com o começo do vídeo em análise, sendo que esteve presente no ecrã durante 45 segundos (aproximadamente 1350 *frames*).

Ao longo da visualização do estímulo, o adulto ia chamando a atenção da criança para este, através de gestos e da fala.

Relativamente aos movimentos dos olhos, a criança inicia o vídeo a olhar para o centro do ecrã e aos 1,8 segundos (*frame* 54) passa a olhar ligeiramente para a sua esquerda e para cima. Aos 2,3 segundos (*frame* 69) olha para o centro e para cima. A partir deste instante inicia um movimento no sentido dos ponteiros do relógio, acompanhando o estímulo, e efectuando um quarto de volta, até aos 4,7 segundos (*frame* 141), quando pára de executar este movimento. De seguida, a criança pisca os olhos durante 0,3 segundos. Quando reabre os olhos (*frame* 150), esta encontra-se a olhar ligeiramente para a direita e para cima, dando continuidade a esse movimento até aos 6 segundos (*frame* 180), instante em que inicia uma rotação da cabeça para a direita, olhando para o adulto que se encontrava ao seu lado.

Aos 7,2 segundos (*frame* 216), volta a focar a sua atenção no estímulo apresentado no ecrã, que neste instante se localizava numa posição central para baixo. Acompanha então o movimento de subida para a esquerda do círculo até este se encontrar no topo do ecrã aos 12,6 segundos (*frame* 378). Mantém o olhar no topo do ecrã durante 1 segundo (*frame* 408), abanando muito ligeiramente a cabeça para a direita.

Inicia então um movimento dos olhos para a esquerda até aos 14,7 segundos (*frame* 441), instante em que muda a direcção do olhar para a direita. Permanece com os olhos nesta posição até aos 15 segundos (*frame* 450), piscando os olhos durante 0,2 segundos. Enquanto tem os olhos fechados, a criança inicia uma inclinação da cabeça para cima, que dura até aos 15,3 segundos (*frame* 459). Nesse instante o olhar encontra-se direccionado para o topo do ecrã.

Nos 15,4 segundos (*frame* 462), inicia uma rotação da cabeça para a direita acompanhada pelos olhos, olhando novamente para o adulto até aos 16,3 segundos (*frame* 489), altura em que roda ligeiramente a cabeça para a esquerda, ficando a olhar para fora do ecrã, para a direita, durante 0,7 segundos (*frame* 510). Completa então a rotação da cabeça, voltando a focar a sua atenção no centro do ecrã aos 18 segundos (*frame* 540).

Aos 18,7 segundos (*frame* 561), a criança realiza uma aproximação ao ecrã e inclinando a cabeça para cima. Durante este movimento, volta a direccionar o seu olhar para o

estímulo, que se encontra no topo do ecrã, acompanhando-o durante a meia volta descendente para a direita até aos 22,6 segundos (*frame* 678). Continua então a acompanhar o movimento ascendente pela esquerda do círculo até este atingir o topo aos 29,2 segundos (*frame* 876). Realiza então um movimento muito ligeiro dos olhos para a esquerda.

Nos 30 segundos (*frame* 900) do vídeo, a criança desvia o seu olhar para a direita do ecrã e 0,9 segundos depois (*frame* 927), desloca a posição dos seus olhos para a esquerda.

Aos 31 segundos (*frame* 930), volta a rodar a sua cabeça na direcção do adulto, ficando a olhar para este até aos 32,1 segundos (*frame* 963). Neste instante, volta a direccionar a sua cabeça para o topo do ecrã, onde apareceu o estímulo. Acompanha o movimento descendente do círculo até aos 35,8 segundos (*frame* 1074), altura em que este se encontra no canto inferior direito. Volta a realizar uma rotação da cabeça no sentido do adulto, voltando a acompanhar o estímulo no instante 36,8 segundos (*frame* 1104), que se encontra na parte inferior do ecrã. A partir daqui, a criança acompanha o movimento ascendente para a esquerda até ao estímulo chegar ao topo no segundo 43,3 (*frame* 1299). A criança mantém-se a olhar nesta posição até aos 45,5 segundos (*frame* 1365), altura em que o estímulo desaparece.

Nas figuras 6.34 e 6.35 encontram-se representadas a variação da posição horizontal do olho esquerdo e direito, respectivamente, de uma criança de dois anos a observar o estímulo descrito em cima. O valor de binarização utilizado foi de 0,26 para o olho esquerdo e 0,28 para o olho direito.

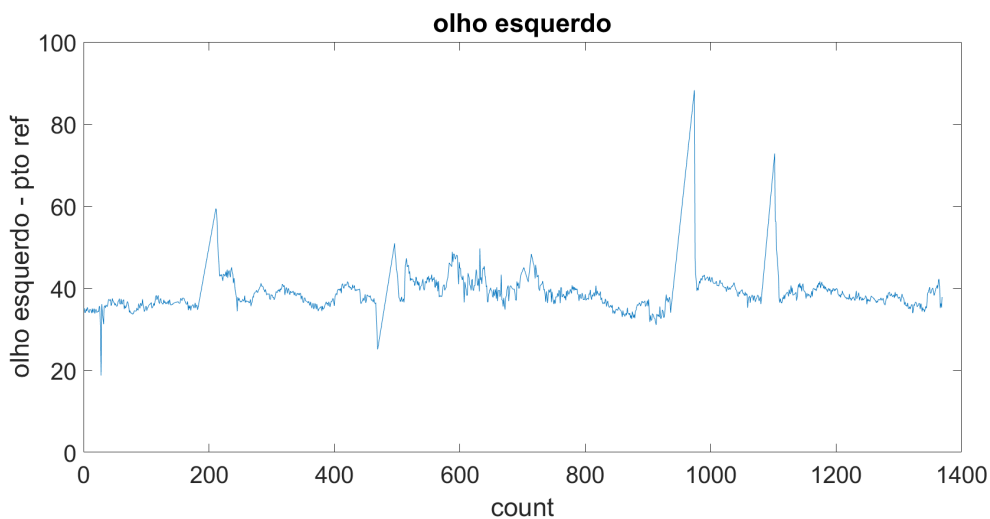


Figura 6.34: Gráfico referente ao movimento horizontal do olho esquerdo de uma criança de dois anos

Comparando estes gráficos com a descrição feita, a olho, do que é observado no vídeo, é possível detectar algumas incoerências. Logo no início dos gráficos, por volta da *frame* 28, verifica-se uma queda abrupta da variável em estudo no eixo *y* de ambos os gráficos. Esta alteração foi provocada pela mão do adulto presente no vídeo, que é colocada à frente da cara da criança durante esse intervalo de tempo, interferindo com o seguimento dos

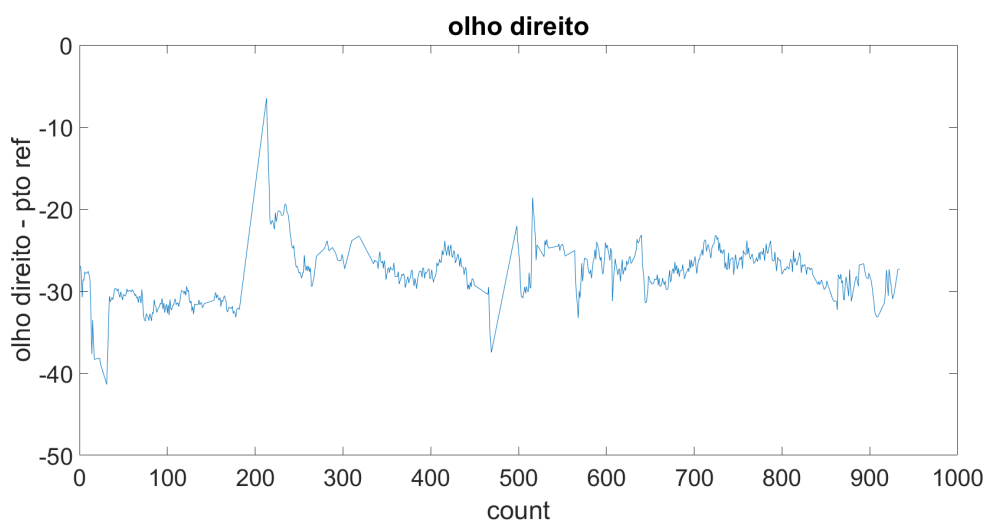


Figura 6.35: Gráfico referente ao movimento horizontal do olho direito de uma criança de dois anos

pontos.

Por volta da *frame* 180 é possível observar uma subida da variável em estudo no eixo y de ambos os gráficos que dura até, aproximadamente, à *frame* 220. Neste intervalo ocorreu uma rotação da cabeça da criança para a direita, com o intuito de olhar para o adulto que se encontrava à sua direita.

As três rectas que surgem entre, aproximadamente, as *frames* 460 e 500 estão relacionadas com a sucessivas rotações de cabeça realizadas neste intervalo de tempo.

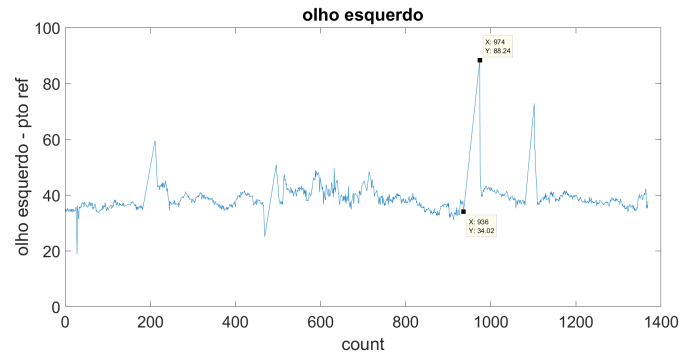
A maior amplitude dos movimentos do olho esquerdo e direito que ocorrem entre as *frames* 560 e 700, aproximadamente, estão relacionadas com a aproximação da cara da criança ao ecrã, que aumenta o intervalo de distâncias possíveis para os olhos e ponto de referência

O pico que surge por volta da *frame* 950 está relacionado com uma nova rotação da cabeça da criança, como está exemplificado na figura 6.36. A recta que passa pelos dois pontos marcados na figura representa uma não detecção do olho durante esse intervalo de tempo, pois não existem mais pontos entre estes dois.

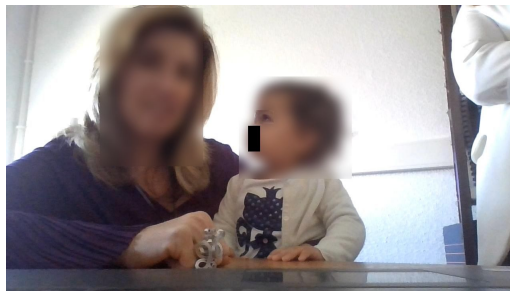
O último pico, que corresponde à *frame* 1110, aproximadamente, ocorre porque a criança nesse instante levanta a mão esquerda, com o intuito de apontar para o ecrã. Este movimento interfere com a normal detecção do olho esquerdo e com o ponto de referência.

Relativamente ao gráfico da variação da posição horizontal do olho direito, é possível verificar que este só é detectado até à *frame* 934. O motivo para esta não detecção está relacionado com o facto de que a partir desta *frame*, o detector do olho direito passa para o olho esquerdo. Como são retirados os valores superiores a zero da diferença entre o olho direito e o ponto de referência, pois o olho direito nunca tem uma posição horizontal superior à do nariz, estes não aparecem no gráfico.

6.3. RESULTADOS OBTIDOS NA POPULAÇÃO ALVO



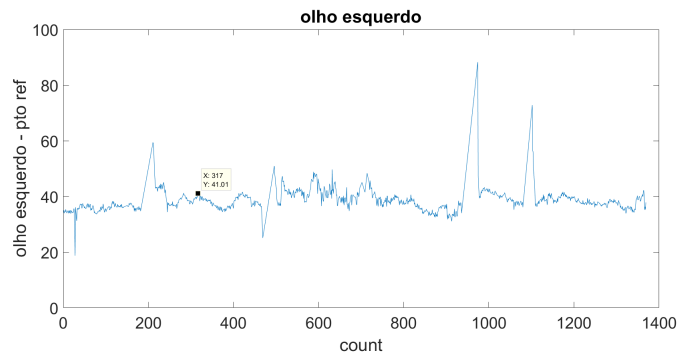
a Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo



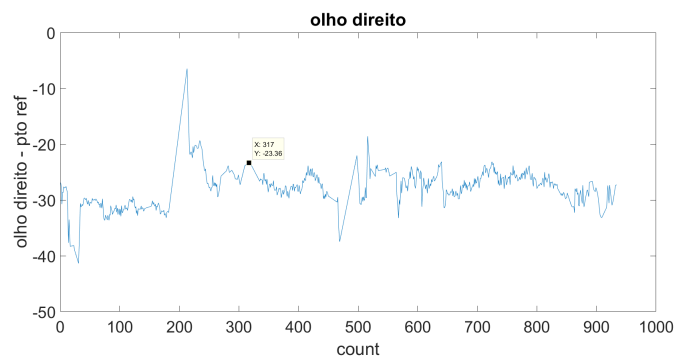
b *Frame* número 950 do vídeo

Figura 6.36: Representação do gráfico e imagem relativas à *frame* 950

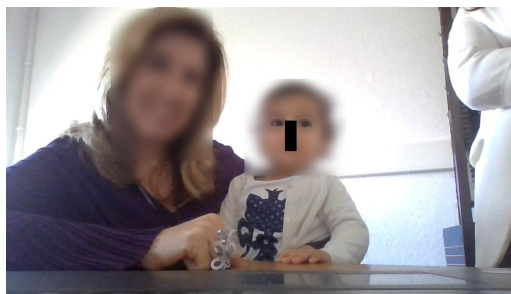
Nas figuras 6.37 e 6.38 é possível verificar que ocorreu uma descida no gráfico entre o ponto correspondente à *frame* 317 e o ponto relativo à *frame* 374. Tal acontece porque inicialmente a criança está a olhar para o seu lado esquerdo e na figura a seguir encontra-se a olhar para o centro do ecrã.



a Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo



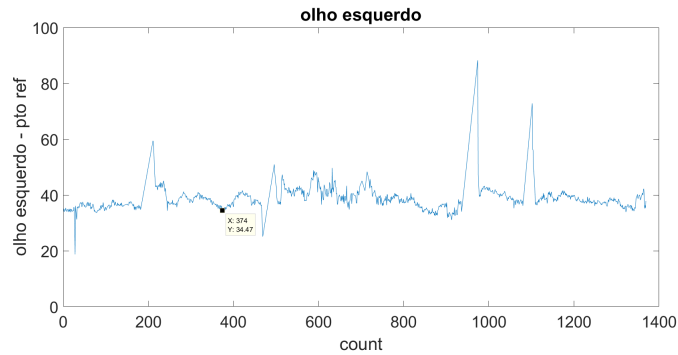
b Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito



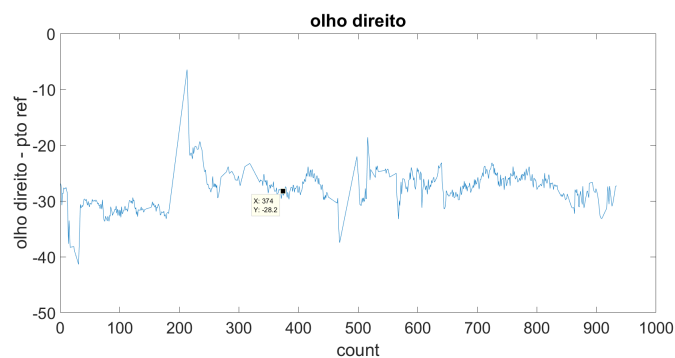
c *Frame* número 317 do vídeo

Figura 6.37: Representação dos gráficos e imagem relativas à *frame* 317

6.3. RESULTADOS OBTIDOS NA POPULAÇÃO ALVO



a Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo



b Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito



c Frame número 374 do vídeo

Figura 6.38: Representação dos gráficos e imagem relativas à *frame* 374

6.3.2 Criança com um ano de idade

Esta sessão foi realizada com uma criança de um ano de idade, sem patologias conhecidas e de olhos escuros. Esta encontrava-se sentada ao colo de um adulto a cerca de 60 cm do ecrã, com luminosidade a incidir lateralmente no lado direito do indivíduo em estudo. O valor de binarização utilizado para os dois olhos foi de 0,28.

Ao longo da sessão, foi mais complicado manter a atenção do olhar da criança no ecrã do que no exemplo da criança de dois anos. Esta, devido à idade, quase nunca tem a cabeça estática. Por isso, o vídeo analisado nesta secção corresponde ao estímulo em que a criança esteve mais atenta. O vídeo tem uma duração de 6 segundos (aproximadamente 180 *frames*) e o estímulo apresentado foi o círculo vermelho simples, sem movimento. O

vídeo é finalizado antes do fim do estímulo porque ocorre um erro na detecção do ponto de referência que encerra o programa na *frame* 117.

No início do vídeo a criança encontra-se a olhar para a esquerda e começa a realizar um movimento da cabeça para trás e para a direita até aos 0,3 segundos (*frame* 9). A partir deste instante, começa a deslocar a sua cabeça para a esquerda até aos 0,9 segundos (*frame* 27). Durante este movimento, muda a direcção do seu olhar aos 0,5 segundos (*frame* 15) para o centro do ecrã. Após os 0,9 segundos, realiza um movimento da cabeça para a direita durante 0,1 segundos (*frame* 30).

Aos 1,1 segundos (*frame* 33), muda a direcção do seu olhar para a esquerda e após 0,3 segundos (*frame* 42), começa a realizar um movimento do corpo e da cabeça para baixo.

No instante 1,9 segundos (*frame* 57) muda a direcção do seu olhar para o centro, ficando a olhar para o estímulo durante 0,8 segundos (*frame* 81). Aos 2,3 segundos (*frame* 69) sobe ligeiramente a posição dos olhos.

Aos 2,7 segundos (*frame* 81), começa a realizar uma rotação da cabeça para a direita, ficando a olhar para a direita e para cima até aos 3,9 segundos (*frame* 117). Neste momento, inicia uma rotação da cabeça para a esquerda que atinge a amplitude máxima do movimento aos 4,4 segundos (*frame* 132), ficando a olhar para a esquerda até aos 4,9 segundos (*frame* 147).

Inicia uma ligeira rotação da cabeça para a direita que termina aos 5,4 segundos (*frame* 162), ficando a criança a olhar para a esquerda e para cima. Aos 5,7 segundos (*frame* 15) baixa ligeiramente a posição dos olhos e o vídeo é finalizado.

Nas figuras 6.39 e 6.40 encontram-se representadas as variações na horizontal dos dois olhos da criança de um ano de idade. É possível verificar que o olho direito deixou de ser detectado na *frame* 80.

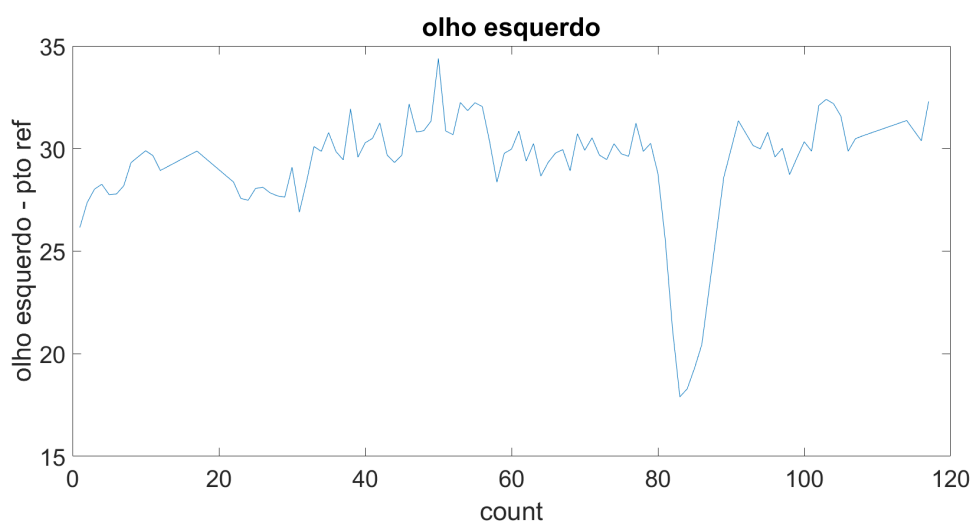


Figura 6.39: Gráfico referente ao movimento em x do olho esquerdo de uma criança de um ano

Nas figuras 6.39 e 6.40 encontram-se representadas as variações verticais dos dois

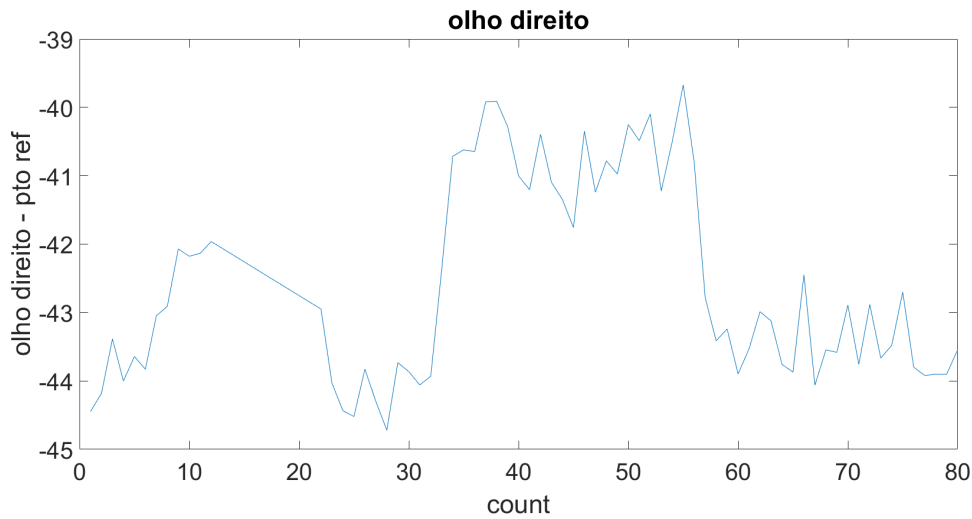


Figura 6.40: Gráfico referente ao movimento em x do olho direito de uma criança de um ano

olhos da criança. É possível verificar que o olho direito deixou de ser detectado na *frame* 80.

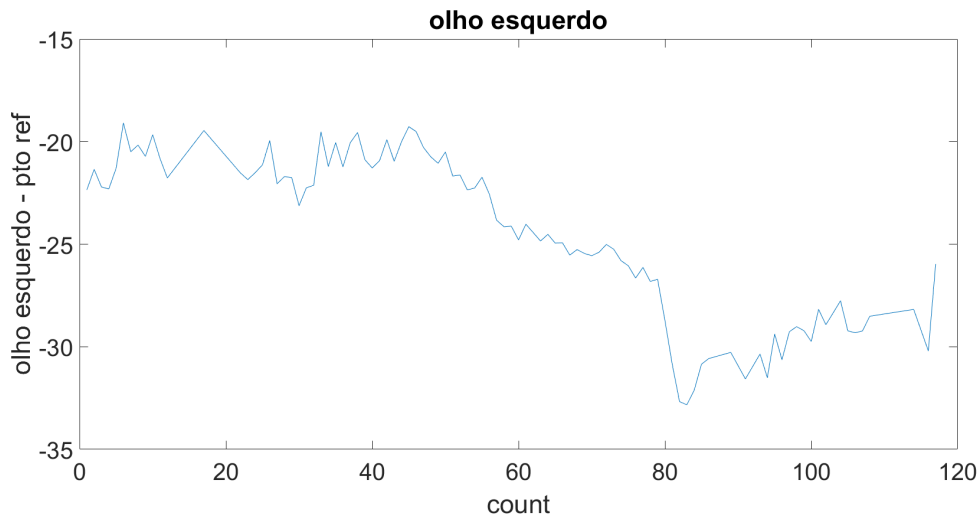


Figura 6.41: Gráfico referente ao movimento em y do olho esquerdo de uma criança de um ano

Nas figuras 6.43 e 6.44 estão exemplificadas duas situações em que a criança se encontra a olhar para o seu lado esquerdo. Na primeira situação é possível observar que o ponto correspondente à *frame* 28 não está em concordância com a imagem do vídeo, pois, como a criança está a olhar no sentido do ponto de referência, o seu valor deveria ser mais elevado, ou seja, menos negativo. Na segunda, ocorre um aumento do valor da posição horizontal porque o olho esquerdo afastou-se do ponto de referência, ou seja, a diferença aumentou.

Na situação representada pela figura 6.45, a criança encontra-se a olhar para o seu

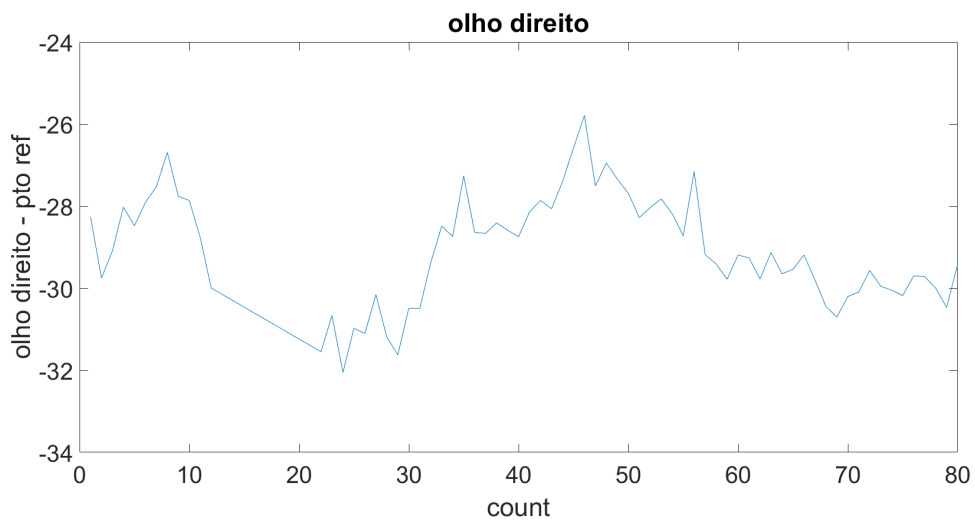
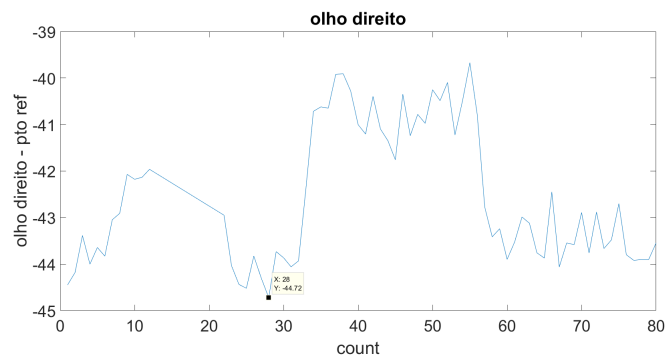
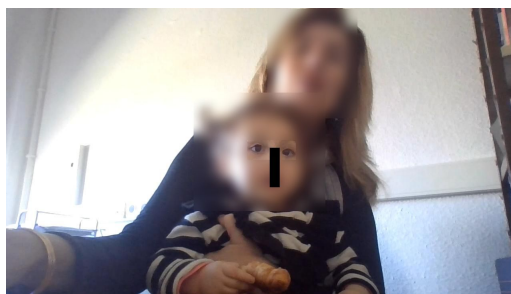


Figura 6.42: Gráfico referente ao movimento em y do olho direito de uma criança de um ano



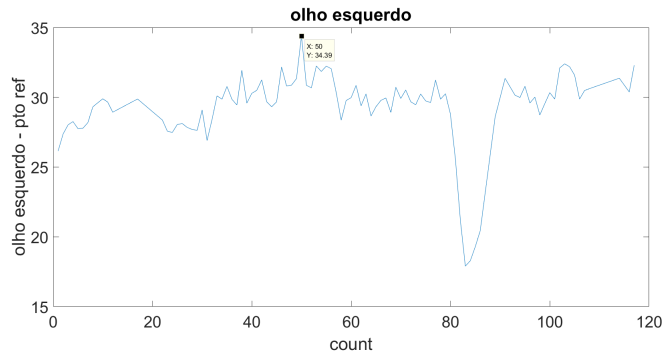
a Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito



b *Frame* número 28 do vídeo

Figura 6.43: Representação do gráfico e imagem relativas à *frame* 28

6.3. RESULTADOS OBTIDOS NA POPULAÇÃO ALVO



a Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo

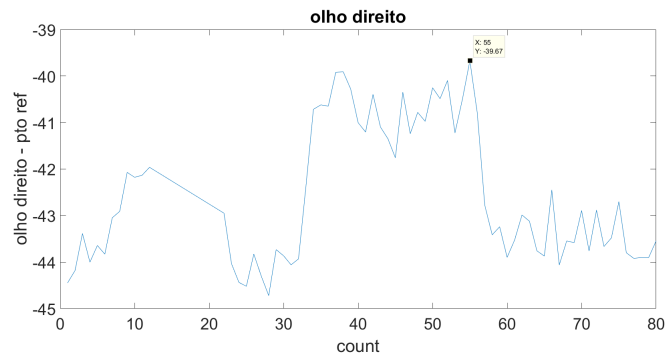


b *Frame* número 50 do vídeo

Figura 6.44: Representação do gráfico e imagem relativas à *frame* 50

lado esquerdo e é possível observar que o ponto correspondente à *frame* 55 tem um valor superior ao da *frame* anterior.

Na figura 6.46, é possível observar que a criança se encontra a olhar o máximo possível para a sua direita. Assim, surge um pico com o valor mais próximo de zero de todo o gráfico do olho esquerdo.

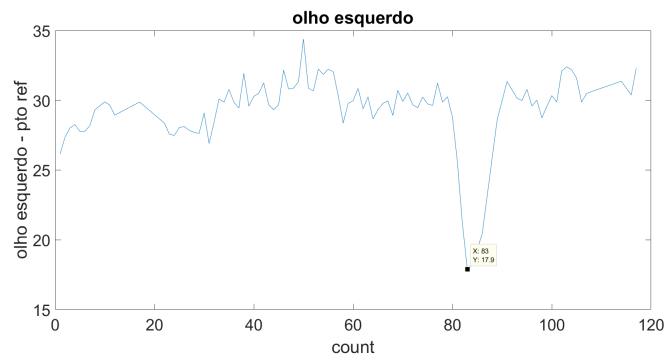


a Gráfico da variação da posição horizontal do olho direito



b *Frame* número 55 do vídeo

Figura 6.45: Representação do gráfico e imagem relativas à *frame* 55



a Gráfico da variação da posição horizontal do olho esquerdo



b *Frame* número 83 do vídeo

Figura 6.46: Representação do gráfico e imagem relativas à *frame* 83

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo pretende-se fazer uma análise aos resultados obtidos nos capítulos 4 e 6.

O sub-capítulo 7.1 é referente aos resultados obtidos da aplicação da plataforma em pacientes que sofreram um AVC. O sub-capítulo 7.2 é referente aos resultados obtidos do *eyetracker*, focando nos pontos fortes e fracos do programa desenvolvido.

7.1 Aplicação da plataforma a indivíduos com AVC

Relativamente à aplicação da plataforma *RehabVisual*, como complemento, nas sessões de terapia de pacientes que sofreram um AVC, é possível verificar que estes pacientes, apresentaram uma tendência para a melhoria do tempo que demoraram a completar o TMT. No grupo em que não existiu acesso à plataforma, ou seja, apenas foi realizada terapia convencional, é possível verificar que tanto houve melhorias como piores no tempo de realização do teste. Embora este estudo tenha sido realizado numa pequena amostra de população, estes resultados permitem verificar que a terapia convencional normalmente ajuda na reabilitação destes pacientes e que usar a plataforma como complemento auxilia numa melhor recuperação dos mesmos.

Relativamente ao teste de usabilidade aplicado à equipa do IPB, é possível concluir que a plataforma *RehabVisual* apresenta um muito bom grau de usabilidade. No entanto, caso se pretenda realizar mais estudos, utilizando a plataforma, numa população constituída por pacientes que sofreram um AVC, é necessário alterar alguns estímulos.

7.2 Sistema de *Eyetracking*

Após a análise dos gráficos e imagens presentes no capítulo 6, é possível verificar que o programa desenvolvido apresenta resultados dentro do esperado, embora se deva ter

presente as suas limitações.

A principal vantagem deste programa é o facto de não ser necessário executar uma pré-calibração do *eyetracker*. Como o principal objectivo desta dissertação é usar esta ferramenta para estudar crianças com idades inferiores a dois anos, seria complicado executar uma boa pré-calibração. Assim, é apenas necessário gravar o vídeo da sessão, podendo este ser analisado em qualquer local.

Outra vantagem está relacionada com a possibilidade de aparecerem mais do que uma cara no vídeo, sem que cause interferência na recolha dos dados, pois como se utiliza o detector facial e a marcação manual dos olhos na primeira *frame*, apenas vão ser analisados os olhos do indivíduo que esteja a realizar a terapia. Como a plataforma é direccionada para crianças com menos de dois anos, é recorrente que estas estejam sentadas ao colo do terapeuta aquando da visualização do estímulo.

Em relação ao problemas do *eyetracker* desenvolvido, é possível destacar:

- A existência de picos que não estão relacionados com o movimento dos olhos, mas sim da cabeça;
- A existência de um olho que é melhor detectado que o outro;
- Os resultados da detecção do movimento ocular na horizontal serem melhores que os do movimento vertical.

Em relação à primeira situação, por vezes, são gerados picos que correspondem apenas à rotação ou movimento rápido da cabeça, pois, como o programa desenvolvido não consegue ter em consideração a profundidade a que os olhos se encontram, esta alteração da posição da cabeça vai alterar a distância entre o ponto de referência e os olhos. Outra causa para o aparecimento de falsos positivos é a qualidade do vídeo gravado. A qualidade do vídeo está relacionada com a câmara utilizada e a luminosidade ambiente. Isto influencia os resultados porque, se o vídeo tiver uma baixa qualidade de imagem, o *tracker* criado para seguir o ponto de referência pode não conseguir acompanhar o movimento da cabeça da forma mais correcta. Desta forma podem aparecer resultados falsos, pois os olhos encontram-se mais afastados ou próximos do ponto de referência, mas o indivíduo pode não estar a olhar nessa direcção. Estes picos poderiam ser removidos do gráfico, no entanto, a sua remoção automática poderia retirar pontos importantes para uma boa leitura da sessão, tal como ocorreu na figura 6.46, por exemplo.

Relativamente à segunda situação, esta pode surgir devido à luminosidade ambiente se localizar numa posição lateral em relação à pessoa em estudo. Outra causa possível é uma má escolha do valor de binarização e dos filtros, o que leva a uma má detecção. Os filtros aplicados nesta dissertação foram escolhidos de forma a que fossem eficazes na maior parte dos casos analisados. No entanto, não é garantido que tenha sido a melhor escolha para todas as *frames* do vídeo.

O último problema está relacionado com o facto de o olho humano possuir uma forma elíptica horizontal, ou seja, a amplitude dos movimentos horizontais é maior do que os

verticais. Assim sendo, a detecção dos primeiros torna-se mais fácil. Os gráficos referentes à posição vertical apresentam uma maior variação, o que não significa sempre que o olho se tenha movido. Ou seja, como a escala é mais pequena para os movimentos verticais, é difícil obter uma linha de base estável, como se obtém nos horizontais. Posto isto, caso o objectivo seja detectar movimentos verticais, o programa desenvolvido pode não ser o melhor.

CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as considerações gerais, no sub-capítulo 8.1, e o trabalho futuro que pode ser feito de forma a melhorar o que foi desenvolvido nesta dissertação, no sub-capítulo 8.2.

8.1 Considerações Gerais

Com esta dissertação, foi possível implementar uma ferramenta de análise de vídeo filmado com a câmara do computador, semi-automática, capaz de acompanhar os movimentos oculares dos sujeitos em estudo, sem necessitar de uma pré-calibração e sem custos associados.

A maior limitação do sistema de *eyetracking* desenvolvido está relacionada com a sua baixa capacidade para detectar movimentos verticais do olho. Esta limitação surge em vários programas de *eyetracking* que utilizam a luz ambiente. Para além desta limitação, o facto de ser necessário alterar o factor de binarização para cada vídeo analisado pode revelar-se pouco *user friendly*.

Foi possível verificar também com esta dissertação, numa parceria com o IPB, que a plataforma *RehabVisual* tem potencial para ser estendida a outro tipo de populações, como por exemplo, indivíduos que sofreram um AVC. Foram comprovados novamente os bons resultados dos testes de usabilidade realizados aos utilizadores da plataforma. No entanto, caso se pretenda aplicar a plataforma numa maior população deste tipo, devem ser realizadas alterações nos estímulos presentes na mesma.

8.2 Trabalho Futuro

Relativamente ao trabalho futuro que pode ser realizado com esta dissertação, seria interessante aplicar o *eyetracker* em sessões de terapia ocupacional de crianças com menos de dois anos de idade, de forma regular, com o objectivo de se perceber se o terapeuta consegue adaptar-se a este e se a sua utilização melhora a percepção da reabilitação dos pacientes. A inclusão de uma fonte de luz infravermelha durante a gravação do vídeo pode ajudar a obter melhores resultados.

Aconselha-se, para uma mais fácil utilização por parte dos terapeutas, tentar incluir o *eyetracker* dentro da plataforma *RehabVisual*.

Relativamente ao algoritmo, seria relevante tentar automatizar a selecção de um valor óptimo de binarização e dos filtros de imagem aplicados.

Seria também interessante utilizar este sistema para estudar outro tipo de doenças e de população, sendo sugerida a escolha de indivíduos que consigam manter a cabeça mais estável, de forma a que os resultados sejam melhores.

No entanto, caso se pretenda aplicar a plataforma noutras populações, é necessário realizar alterações nos estímulos, de forma a que fiquem adaptados a estas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] World Health Organization. *Blindness and vision impairment*. 2018. URL: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment> (acedido em 25/01/2019).
- [2] V. E. Bishop. “Infants and Toddlers with Visual Impairments”. Em: (1998), pp. 1–26. URL: <http://www.tsbvi.edu/curriculum-a-publications/1051-infants-and-toddlers-with-visual-impairments-by-virginia-bishop>.
- [3] R. B. Machado. “Desenvolvimento de uma aplicação para estimulação das competências visuomotoras”. Em: (2017).
- [4] C. Dias. “Desenvolvimento e validação de uma ferramenta para estimulação das competências visuomotoras em bebês com alterações de desenvolvimento decorrentes do nascimento”. Em: (2018).
- [5] A. Alves, B. Carmo, S. Costa e F. Figueiredo. “Utilização da aplicação RehabVisual na reabilitação cognitiva em clientes com Acidente Vascular Cerebral”. Em: (2019).
- [6] A. Russo, C. VanPutte, J. Regan, R. Seeley, T. Srephens e P. Tate. *Seeley’s Anatomy & Physiology*. Ed. por M.-H. Education. 11th. McGraw-Hill Education, 2017, pp. 513–531. ISBN: 9780077736224.
- [7] A. Mazuze e J. Mazalo. “Avaliação da função visual em estudantes da academia militar em Moçambique”. Em: *Saúde Meio Ambient* 7.2 (2018), pp. 47–61.
- [8] J. Agni, J. Cohen, J. Guthrie, G. Lucker, S. McElhearn, S. Mistrett, V. Morabito, L. Nickolai, M. Nozyce, S. Olitsky, S. Ricioppo, I. Rosen, A. Shanske e J. Gurland. “Report of the Recommendations: Vision Impairment”. Em: *New York State Development of Health Clinical* P.4970 (2007). ISSN: 1095-6433. DOI: 10.1016/S1095-6433(02)00186-1.
- [9] T. Farroni e E. Menon. “Percepção visual e desenvolvimento inicial do cérebro”. Em: *Enciclopédia sobre o Desenvolvimento na Primeira Infância* (2013), pp. 1–6. URL: <http://www.encyclopedia-crianca.com/documents/Farroni-MenonPRTxp1.pdf>.
- [10] K. Freeman, R. Cole, E. Faye, P. Freeman, G. Goodrich e J. Stelmack. “Care of the Patient with Visual Impairment (Low Vision Rehabilitation)”. Em: *American Optometric Association* (2010).

- [11] R. L. Sacco, S. E. Kasner, J. P. Broderick, L. R. Caplan, J. J. Connors, A. Culebras, M. S. Elkind, M. G. George, A. D. Hamdan, R. T. Higashida, B. L. Hoh, L. S. Janis, C. S. Kase, D. O. Kleindorfer, J. M. Lee, M. E. Moseley, E. D. Peterson, T. N. Turan, A. L. Valderrama e H. V. Vinters. "An updated definition of stroke for the 21st century: A statement for healthcare professionals from the American heart association/American stroke association". Em: *Stroke* 44.7 (2013), pp. 2064–2089. ISSN: 00392499. DOI: [10.1161/STR.0b013e318296aeca](https://doi.org/10.1161/STR.0b013e318296aeca). arXiv: NIHMS150003.
- [12] F. Rowe, D. Brand, C. A. Jackson, A. Price, L. Walker, S. Harrison, C. Eccleston, C. Scott, N. Akerman, C. Dodridge, C. Howard, T. Shipman, U. Sperring, S. Macdiarmid e C. Freeman. "Visual impairment following stroke: Do stroke patients require vision assessment?" Em: *Age and Ageing* 38.2 (2009), pp. 188–193. ISSN: 00020729. DOI: [10.1093/ageing/afn230](https://doi.org/10.1093/ageing/afn230).
- [13] S. Khan, E. Leung e W. M. Jay. "Stroke and Visual Rehabilitation". Em: *Topics in Stroke Rehabilitation* 15.1 (2008), pp. 27–36. ISSN: 14710528. DOI: [10.1111/j.1471-0528.1939.tb10558.x](https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.1939.tb10558.x). URL: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1310/tsr1501-27>.
- [14] S. A. Jones e R. A. Shinton. "Improving outcome in stroke patients with visual problems". Em: *Age and Ageing* 35.6 (2006), pp. 560–565. ISSN: 00020729. DOI: [10.1093/ageing/af1074](https://doi.org/10.1093/ageing/af1074).
- [15] K. L. Hanna, L. R. Hepworth e F. J. Rowe. "The treatment methods for post-stroke visual impairment: A systematic review." Em: *Brain and behavior* 7.5 (2017), e00682. ISSN: 2162-3279. DOI: [10.1002/brb3.682](https://doi.org/10.1002/brb3.682). URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28523224%7B%5C%7D0Ahttp://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC5434187>.
- [16] L.-T. Tsai, J.-L. Hsu, C.-T. Wu, C.-C. Chen e Y.-C. Su. "A New Visual Stimulation Program for Improving Visual Acuity in Children with Visual Impairment: A Pilot Study". Em: *Frontiers in Human Neuroscience* 10.April (2016), pp. 1–10. ISSN: 1662-5161. DOI: [10.3389/fnhum.2016.00157](https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00157). URL: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fnhum.2016.00157/abstract>.
- [17] D. Malkowicz, G. Myers e G. Leisman. "Rehabilitation of cortical visual impairment in children". Em: *International Journal of Neuroscience* 116.9 (2006), pp. 1015–1033. ISSN: 00207454. DOI: [10.1080/00207450600553505](https://doi.org/10.1080/00207450600553505).
- [18] C. A. Valenti. "Infant Vision Guidance: Fundamental Vision Development in Infancy." Em: *Optometry & Vision Development* 37.3 (2006), pp. 147–155. ISSN: 15574113. URL: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true%7B%5C%7Ddb=a9h%7B%5C%7DAN=23901774%7B%5C%7Dsite=ehost-live>.
- [19] L. Goffart. "Saccadic Eye Movements". Em: *Encyclopedia of Neuroscience* (2009), pp. 437–444. DOI: [10.1016/B978-008045046-9.01101-3](https://doi.org/10.1016/B978-008045046-9.01101-3).

- [20] J. W. Jutai, S. K. Bhogal, N. C. Foley, M. Bayley, R. W. Teasell e M. R. Speechley. "Treatment of visual perceptual disorders post stroke". Em: *Topics in Stroke Rehabilitation* 10.2 (2003), pp. 77–106. ISSN: 10749357. DOI: [10.1310/07BE-5E1N-735J-1C6U](https://doi.org/10.1310/07BE-5E1N-735J-1C6U).
- [21] R. Teasell, K. Salter, A. Cotoi, A. Iliescu e J. Donais. "Perceptual Disorders". Em: *Evidence-Based Review of Stroke Rehabilitation* (2018), pp. 121–147. DOI: [10.1007/978-1-4757-4087-5_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4087-5_5).
- [22] K. Harezlak e P. Kasprowski. "Application of eye tracking in medicine: A survey, research issues and challenges". Em: *Computerized Medical Imaging and Graphics* 65 (2018), pp. 176–190. ISSN: 18790771. DOI: [10.1016/j.compmedimag.2017.04.006](https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2017.04.006). URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compmedimag.2017.04.006>.
- [23] C. H. Morimoto e M. R. Mimica. "Eye gaze tracking techniques for interactive applications". Em: *Computer Vision and Image Understanding* 98.1 (2005), pp. 4–24. ISSN: 10773142. DOI: [10.1016/j.cviu.2004.07.010](https://doi.org/10.1016/j.cviu.2004.07.010).
- [24] A. Papoutsaki e J. Laskey. "WebGazer : Scalable Webcam Eye Tracking Using User Interactions". Em: ().
- [25] TobiiPro/SDK. *Calibration*. URL: <http://developer.tobiipro.com/commonconcepts/calibration.html> (acedido em 17/08/2019).
- [26] *No Title*. URL: <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-x3-120/> (acedido em 10/08/2019).
- [27] B. Farnsworth. *Eye Tracker Prices – An Overview of 20+ Eye Trackers*. 2019. URL: <https://imotions.com/blog/eye-tracker-prices/> (acedido em 10/08/2019).
- [28] C. M. Barnum. *Usability testing essentials: ready, set... test!* Elsevier, 2010.
- [29] J. Brooke. "SUS: A Retrospective". Em: *Journal of Usability Studies* 8.2 (2013), pp. 29–40. ISSN: 10735623. DOI: [10.1007/s11661-008-9771-3](https://doi.org/10.1007/s11661-008-9771-3).
- [30] A. Bangor, P. Kortum e J. Miller. "Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale". Em: 4.3 (2009), pp. 114–123.
- [31] A. I. Martins, A. F. Rosa, A. Queirós, A. Silva e N. P. Rocha. "European Portuguese Validation of the System Usability Scale (SUS)". Em: *Procedia Computer Science* 67.Dsai (2015), pp. 293–300. ISSN: 18770509. DOI: [10.1016/j.procs.2015.09.273](https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.273). URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.273>.
- [32] J. Sauro. *5 ways to interpret a SUS score*. 2018. URL: <https://measuringu.com/interpret-sus-score/> (acedido em 10/08/2019).
- [33] J. R. Lewis. "Can I Leave This One Out ? The Effect of Dropping an Item From the SUS". Em: *Journal of Usability Studies* 13.1 (2017), pp. 38–46. URL: <http://uxpajournal.org/dropping-item-sus/>.

- [34] J. Sauro. *10 Things to Know About the System Usability Scale (SUS)*. 2013. URL: [http://www.measuringusability.com/blog/10-things-SUS.php?utm%7B%5C_%7Dsource=feedly%7B%5C%7Dutm%7B%5C_%7Dmedium=feed%7B%5C%7Dutm%7B%5C_%7Dcampaign=Feed:+MeasuringUsability+\(Measuring+Usability:+Quantitative+Usability+and+Statistics\)](http://www.measuringusability.com/blog/10-things-SUS.php?utm%7B%5C_%7Dsource=feedly%7B%5C%7Dutm%7B%5C_%7Dmedium=feed%7B%5C%7Dutm%7B%5C_%7Dcampaign=Feed:+MeasuringUsability+(Measuring+Usability:+Quantitative+Usability+and+Statistics)) (acedido em 16/08/2019).
- [35] N. Ciesielska, M. Podhorecka, K. Kedziora-Kornatowska, E. Mazur, R. Sokolowski e A. Polak-Szabela. "Is the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) test better suited than the Mini-Mental State Examination (MMSE) in mild cognitive impairment (MCI) detection among people aged over 60? Meta-analysis". Em: *Psychiatria Polska* 50.5 (2016), pp. 1039–1052. ISSN: 0033-2674. DOI: 10.12740/pp/45368.
- [36] *Facepixelizer*. URL: <https://www.facepixelizer.com/> (acedido em 14/09/2019).
- [37] *Moca Test Full*. URL: https://www.mocatest.org/paper-tests/moca-test-full/?fbclid=IwAR1a1f1mNdQBjSzIF3%7B%5C_%7DnrPm3YZmAS65nwUdnXYZNt2kjW%7B%5C_%7DLRoyY29Dxqyu4 (acedido em 20/08/2019).
- [38] *Trail Making Test*. URL: <https://slideplayer.com/slide/9264337/> (acedido em 20/08/2019).



ANEXO I - QUESTIONÁRIO *SUS*

	Discordo Fortemente				Concordo Fortemente
1. Penso que gostaria de usar este sistema com frequência.	1	2	3	4	5
2. O sistema é desnecessariamente complexo.	1	2	3	4	5
3. Penso que o sistema é fácil de usar.	1	2	3	4	5
4. Penso que preciso de ajuda de um técnico para conseguir utilizar o sistema.	1	2	3	4	5
5. Achei que as diversas funções deste sistema foram bem integradas.	1	2	3	4	5
6. Achei que existem muitas inconsistências no sistema.	1	2	3	4	5
7. Imagino que a maioria das pessoas conseguem aprender a utilizar o sistema rapidamente.	1	2	3	4	5
8. Achei o sistema muito complicado de usar.	1	2	3	4	5
9. Senti-me muito confiante a utilizar o sistema.	1	2	3	4	5
10. Preciso de aprender muitas coisas antes de usar o sistema.	1	2	3	4	5

Figura I.1: Questionário SUS [4]



ANEXO II - *Montreal Cognitive Assessment*, VERSÃO

7.1

MONTREAL COGNITIVE ASSESSMENT (MOCA) Nome: _____ Idade: _____
 VERSÃO PORTUGUESA – 7.1 VERSÃO ORIGINAL Gênero: _____ Data de Nascimento: _____
 Escolaridade: _____ Data de Avaliação: _____

VISUO-ESPACIAL / EXECUTIVA							Pontos
		Copiar o cubo []					Desenhar um Relógio (onze e dez) (3 pontos) [] [] [] [] [] Contorno Números Ponteiros ___/5
NOMEAÇÃO					[] [] [] ___/3		
MEMÓRIA	Leia a lista de palavras. O sujeito deve repeti-la. Realize dois ensaios. Solicite a evocação da lista 5 minutos mais tarde.	Boca [] 1º ensaio [] 2º ensaio []	Linho []	Igreja []	Cravo []	Azul []	Sem Pontuação
ATENÇÃO	Leia a sequência de números. (1 número/segundo)	O sujeito deve repetir a sequência. [] 2 1 8 5 4 O sujeito deve repetir a sequência na ordem inversa. [] 7 4 2					___/2
Leia a série de letras (1 letra/segundo). O sujeito deve bater com a mão cada vez que for dita a letra A. Não se atribuem pontos se ≥ 2 erros		[] FBACMNAAJKLBAFAKDEAAAJAMOFAB					___/1
Subtrair de 7 em 7 começando em 100.		[] 93	[] 86	[] 79	[] 72	[] 65	___/3
LINGUAGEM	Repetir: Eu só sei que hoje devemos ajudar o João.	[] O gato esconde-se sempre que os cães entram na sala. []					___/2
Fluência verbal: Dizer o maior número possível de palavras que comecem pela letra "P" (1 minuto).		[] _____ (N ≥ 11 Palavras)					___/1
ABSTRAÇÃO	Semelhança p.ex. entre banana e laranja = fruta [] comboio - bicicleta [] relógio - régua					___/2	
EVOCAÇÃO DIFERIDA	Deve recordar as palavras SEM PISTAS	Boca []	Linho []	Igreja []	Cravo []	Azul []	Pontuação apenas para evocação SEM PISTAS
Opcional	Pista de categoria						
Pista de escolha múltipla							
ORIENTAÇÃO	[] Dia do mês [] Mês [] Ano [] Dia da semana [] Lugar [] Localidade					___/6	
© Z.Nasreddine MD Examinador: _____						TOTAL	___/30

Versão Portuguesa: Freitas, S., Simões, M. R., Santana, I., Martins, C. & Nasreddine, Z. (2013). *Montreal Cognitive Assessment (MoCA): Versão 1*. Coimbra: Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade de Coimbra.

Figura II.1: Montreal Cognitive Assessment, versão 7.1 [37]

A N E X O



A N E X O III - *Trail Making Test*

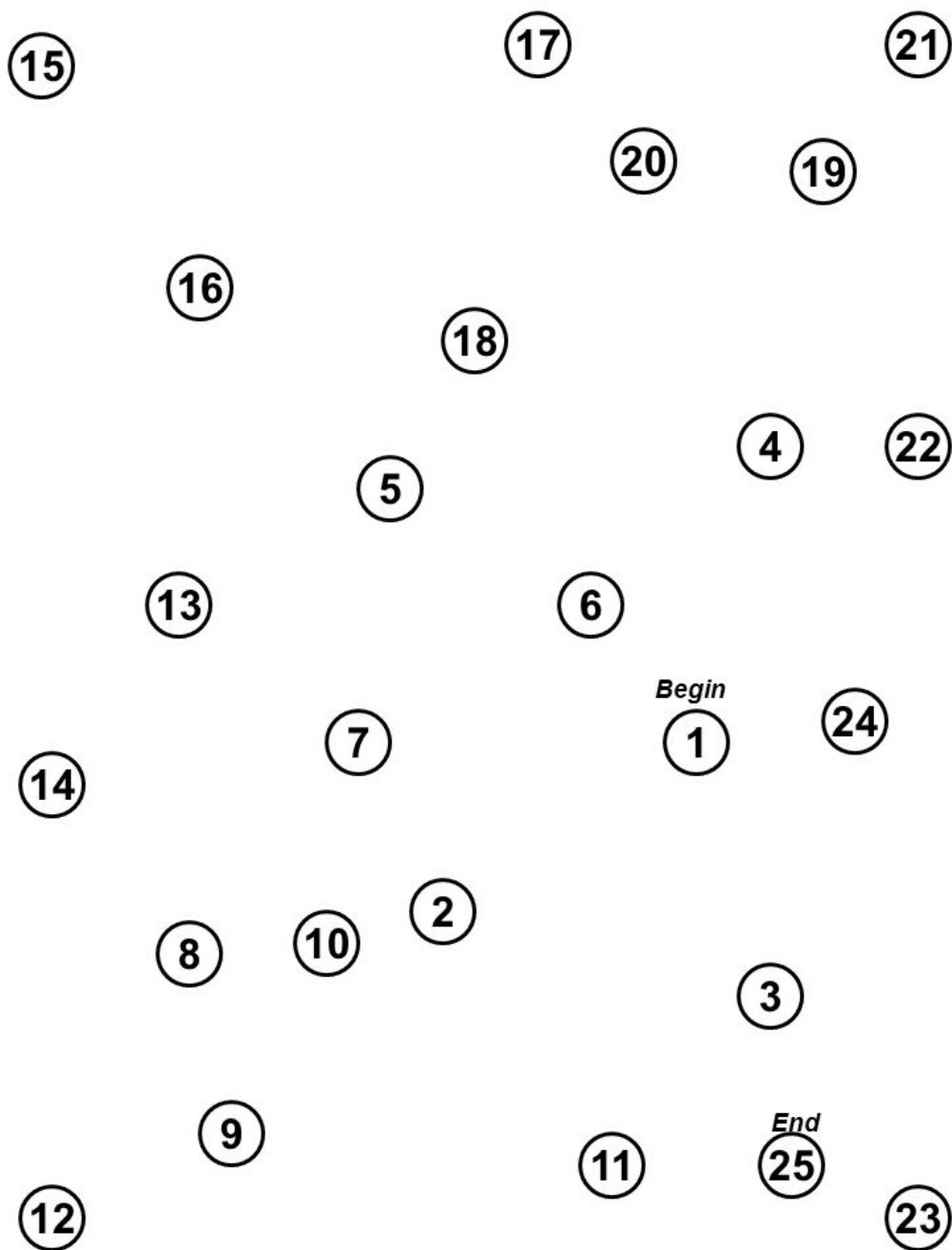


Figura III.1: *Trail Making Test* - parte A [38]

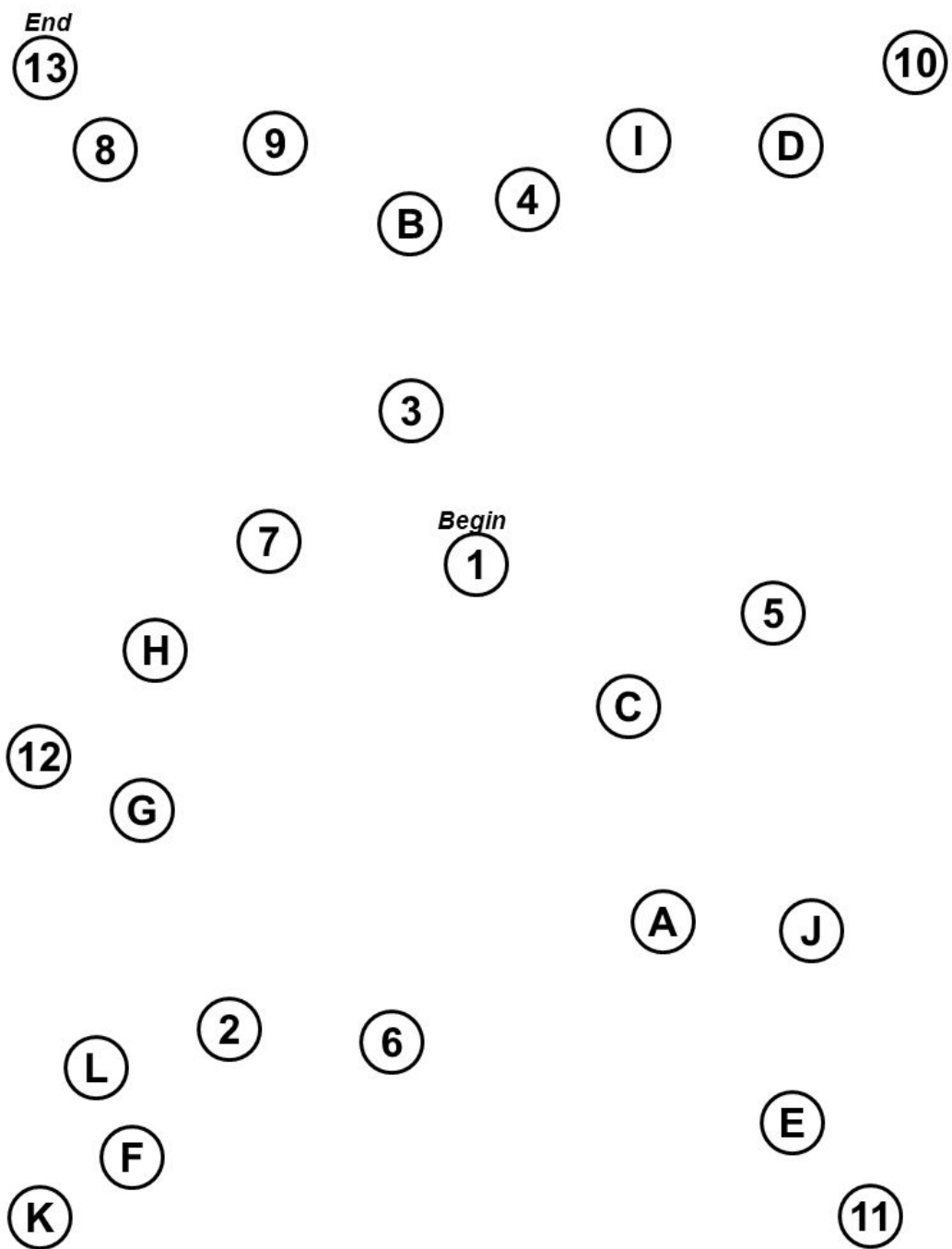


Figura III.2: *Trail Making Test* - parte B [38]