

Universidade do Minho
Escola de Ciências

Patrícia Alexandra Vieira Nogueira

**Estudo dinâmico e em tempo real da
acomodação em disfunções acomodativas**

Estudo dinâmico e em tempo real da acomodação em disfunções acomodativas

Patrícia Alexandra Vieira Nogueira

Uminho | 2022



FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

janeiro 2022



Universidade do Minho

Escola de Ciências

Patrícia Alexandra Vieira Nogueira

**Estudo dinâmico e em tempo real da
acomodação em disfunções acomodativas**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Optometria Avançada

Trabalho efetuado sob a orientação de
Doutora Sandra Maria de Braga Franco

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Apoio financeiro

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PTDC/FIS-OTI/31486/2017.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Estudo dinâmico e em tempo real da acomodação em disfunções acomodativas

Resumo

As disfunções acomodativas dificilmente são diagnosticadas e, por consequência, raramente tratadas, devido à extensa série de procedimentos necessários para tal efeito. Através de um sistema que permite avaliar, em tempo real, as alterações nas aberrações oculares para diferentes estímulos acomodativos, com recurso a um sensor de frente de onda de Hartmann-Shack, é possível obter diversos parâmetros acomodativos que não seriam adquiridos na prática clínica. Neste estudo avaliaram-se as aberrações de alta ordem e os parâmetros da acomodação calculados a partir destas, numa população universitária em sujeitos com e sem disfunções acomodativas.

Os 15 sujeitos que participaram no estudo tinham idades entre os 17 e 30 anos (idade média $24,3 \pm 4,0$ anos). Este estudo observacional analítico foi dividido em duas fases. Na primeira fase foi realizada uma avaliação optométrica e um questionário CISS e, após a qual foram formados 2 grupos, grupo normal composto por sujeitos sem disfunção acomodativa (assintomáticos e sintomáticos) e o grupo disfunção acomodativa (constituído por pacientes com insuficiência e inflexibilidade acomodativa). Na segunda fase do estudo foram medidas as aberrações oculares de forma dinâmica para a visão ao longe e para diferentes estímulos acomodativos utilizando lentes esféricas -1,00 D; -2,00 D; -2,50 D; -4,00 D e -5,00 D.

Foram encontrados diferentes valores para os parâmetros medidos entre os grupos estudados. Estas diferenças foram encontradas entre o grupo de controlo e o grupo com disfunção acomodativa e, ainda, entre sintomáticos e assintomáticos. Foram também encontradas diferenças entre as disfunções acomodativas estudadas.

Os resultados encontrados, embora preliminares, parecem indicar que o método utilizado permitiu detetar diferenças entre os grupos e subgrupos, pelo que pode ser útil no diagnóstico precoce de disfunções acomodativas.

Palavras-chave: acomodação, disfunções acomodativas, aberrometria

Dynamic and real-time study of accommodation in accommodative disorders

Abstract

Accommodative disorders are rarely diagnosed and consequently, rarely treated, due to the extensive series of procedures required for this purpose. Through a system that allows real-time assessment of changes in ocular aberrations for different accommodative stimuli, using a Hartmann-Shack wavefront sensor, it is possible to obtain several accommodative parameters that would not be acquired in clinical practice. In this study, high order aberrations and accommodation parameters calculated from this, were evaluated in a university population in subjects with and without accommodative dysfunctions.

The 15 subjects who participated in the study were aged between 17 and 30 years (mean age 24.3 ± 4.0 years). This analytical observational study was divided into two phases. In the first phase, an optometric evaluation and a CISS questionnaire were performed, after which 2 groups were formed, the normal group (composed of asymptomatic and symptomatic subjects without accommodative dysfunction) and the dysfunctional accommodative group (consisting of patients with accommodative insufficiency and inflexibility). In the second phase of the study, ocular aberrations were dynamically measured for VL and for different accommodative stimuli using spherical lenses -1.00 D; -2.00 D; -2.50 D; -4.00 D and -5.00 D.

Different values were found for the parameters measured between the studied groups. These differences were found between the control group and the group with accommodative dysfunction and between symptomatic and asymptomatic patients. Differences were also found between the accommodative dysfunctions studied.

The results found, although preliminary, seem to indicate that the method used allowed to detect differences between groups and subgroups, so it can be useful in the early diagnosis of accommodative dysfunctions.

Keywords: accommodation, accommodative disorders, aberrometry

Índice

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Hipóteses	2
1.3 Objetivos	2
Capítulo 2 - Revisão bibliográfica.....	3
2.1 Aberrações óticas	3
2.1.1 Aberrações de frente de onda	4
2.1.2 Aberrações oculares monocromáticas.....	4
2.1.2.1 Polinómios de Zernike.....	4
2.1.2.2 RMS.....	7
2.1.2.3 MTF.....	8
2.1.2.4 PSF.....	8
2.1.3 Variações das aberrações oculares	8
2.1.3.1 Entre indivíduos	8
2.1.3.2 Erro Refrativo	9
2.1.3.3 Índice de Refração de Gradiente	9
2.1.3.4 Diâmetro pupilar	10
2.1.3.5 Película lacrimal.....	10
2.1.3.6 Comprimento de onda.....	10
2.1.4 Aberrometria - Medição das aberrações monocromáticas.....	11
2.2 Acomodação	13
2.2.1 Variações da acomodação ocular	15
2.2.1.1 Entre indivíduos	15

2.2.1.2	Erro Refrativo	15
2.2.1.3	Idade.....	16
2.2.1.4	Diâmetro pupilar	16
2.2.2	Disfunções acomodativas.....	16
2.2.3	Dificuldades de diagnóstico	19
2.3	Aberração vs acomodação	22
2.4	Métodos para estudar a acomodação.....	23
Capítulo 3	- Material e Métodos.....	25
3.1	Tipo de estudo	25
3.2	População estudada.....	25
3.3	Critérios de diagnóstico selecionado.....	26
3.4	Procedimento experimental	28
3.4.1	Consulta optométrica e realização de um questionário - Fase 1.....	28
3.4.2	Aberrometria com sistema para estimular a acomodação - Fase 2.....	28
3.5	Análise dos dados.....	30
Capítulo 4	- Resultados.....	33
4.1	Grupo I – Sem disfunção acomodativa	33
4.2	Grupo II – Com disfunção acomodativa	36
4.3	RMS	38
4.4	Resposta acomodativa.....	48
4.4.1	Comparação entre o subgrupo sintomático e assintomático.....	48
4.4.2	Comparação entre o subgrupo insuficiência acomodativa e inflexibilidade acomodativa.....	49
4.4.3	Comparação entre os grupos sem disfunção acomodativa e com disfunção acomodativa	50
4.5	Atraso acomodativo	51
Capítulo 5	- Discussão dos resultados	54

5.1	Subgrupo composto por sujeitos sintomáticos	57
5.2	Principais limitações deste estudo	58
	Capítulo 6- Conclusões e trabalho futuro.....	59
	Bibliografia.....	61
	Anexos.....	70
	Anexo 1	70
	Anexo 2	72

Índice de Figuras

Figura 1: As aberrações oculares representadas pelos polinômios de Zernike (até à sexta ordem) em PSF para uma tamanho pupilar de 4 mm. ^{34,35,38} (adaptado)	7
Figura 2: Representação esquemática do aberrómetro de SH. ^{54,57} (adaptado)	12
Figura 3: A resposta acomodativa em função do estímulo acomodativo ⁶⁰ (adaptado)	14
Figura 4: Representação gráfica da resposta acomodativa dinâmica ⁶⁸ (adaptado)	15
Figura 5: Variação da aberração esférica dos sujeitos sintomáticos e assintomáticos.	40
Figura 6: Variação da aberração esférica secundária dos sujeitos sintomáticos e assintomáticos.	41
Figura 7: Variação dos valores médios do RMS da aberração coma para os sujeitos assintomáticos e sintomáticos.	41
Figura 8: Variação dos valores médios do RMS LOA ao longo da estimulação acomodativa para os sujeitos diagnosticados com insuficiência e inflexibilidade acomodativa.	44
Figura 9: Variação dos valores médios do RMS esférico ao longo da estimulação acomodativa para os sujeitos diagnosticados com insuficiência e inflexibilidade acomodativa.	45
Figura 10: Variação dos valores médios do RMS da aberração esférica dos pacientes identificados com insuficiência acomodativa e inflexibilidade acomodativa.	46
Figura 11: Variação dos valores médios do RMS da aberração esférica secundária dos pacientes identificados com insuficiência acomodativa e inflexibilidade acomodativa.	46
Figura 12: Variação dos valores médios do RMS esférico ao longo da estimulação acomodativa para os sujeitos sem disfunção acomodativa e os diagnosticados com disfunção acomodativa.	48

Figura 13: Variação da resposta acomodativa média em função do tempo entre o subgrupo constituído por sintomáticos e assintomáticos.....	49
Figura 14: Variação da resposta acomodativa em tempo entre o subgrupo de sujeitos com insuficiência acomodativa e com inflexibilidade acomodativa.	50
Figura 15: Variação da resposta acomodativa média ao longo do tempo entre o grupo composto por sujeitos sem disfunção acomodativa e pacientes com disfunção acomodativa.....	51

Índice de tabelas

Tabela 1: Principais sinais clínicos e sintomas das anomalias acomodativas. ^{76, 82, 83} (adaptado).....	18
Tabela 2: Síntese dos diferentes sinais clínicos utilizados por diversos autores para estabelecer os critérios de diagnóstico nas disfunções acomodativas (adaptado) ^{5,7,66,80,83,87}	20
Tabela 3: : Resumo dos diferentes sintomas contabilizados por diversos autores nas disfunções acomodativas ^{5, 7, 78, 85} (adaptado).....	21
Tabela 4: Testes subjetivos e objetivos utilizados na medição acomodação (adaptado) ⁷⁵	24
Tabela 5: Composição dos grupos selecionados	26
Tabela 6: Resultados da consulta optométrica do grupo sem disfunção acomodativa realizado na fase 1 do estudo.....	35
Tabela 7: Resultados da consulta optométrica do grupo disfunção acomodativa realizada na fase 1 do estudo	37
Tabela 8: Valores médios da RMS HOA, LOA, aberração esférica e coma para o grupo normal obtidos na segunda fase do estudo.	39
Tabela 9: Valores médios da RMS HOA, LOA, aberração esférica e coma para o grupo disfunção acomodativa obtidos na segunda fase do estudo.	43
Tabela 10: Valores médios de RMS dos pacientes que não apresentaram disfunção acomodativa e dos que manifestaram disfunção acomodativo.	47
Tabela 11: Variação dos valores médios do atraso acomodativo do grupo normal e disfunção acomodativa.....	52

Abreviaturas e Acrónimos

ΔBN	Prismas de B ase N asal
ΔBT	Prismas de B ase T emporal
μm	Micrómetro
μW	Microwatt
Ac	Resposta A comodativa
AmA	Amplitude de A comodação
ARN	A comodação R elativa N egativa
ARP	A comodação R elativa P ositiva
AV	A cuidade V isual
CCD	<i>Charged-Coupled Device</i>
CISS	<i>Convergence Insufficiency Symptom Survey</i>
cm	Centrímetro
cpm	Ciclos P or M inuto
d	D istância da lente ao sujeito
D	D ioptria
EA	E stímulo A comodativo
FA	F lexibilidade A comodativa
HOA	<i>High Order Aberration</i>
L	Valor esférico da L ente
LOA	<i>Low Order Aberration</i>
LRT	Aberrómetro de traçado a laser
m	Frequência angular da componente sinusoidal
M	Componente vetorial esférica
MEM	<i>Monocular Estimate Method</i>

mm	Milímetros
ms	Milisegundo
Ms	Valor do equivalente esférico Sem lente
Mab	Valor do equivalente esférico do aberrómetro
MTF	<i>Modulation Transfer Function</i>
n	Ordem do radial polinomial
nm	Nanómetro
OCT	Tomografia de Coerência Ótica
OD	Olho Direito
OE	Olho Esquerdo
PSF	Point Spread Function
PV	<i>Peak to Value</i>
RA	Resposta Acomodativa
RMS	<i>Root Mean Square</i>
s	Segundos
SC	Sem Correção refrativa
SH	Aberrómetro Shack – Hartmann sensor
SLD	<i>Wavelength Superluminescent Diode</i>
SLM	Sistema de Monitorização de Lentes
VL	Visão de Longe
VP	Visão de Perto
Z	Termo zenike
θ	Composto azimutal
ρ	Coordenação radial
DA	Grupo Disfunção Acomodativa
C	Grupo Controlo

- S** Grupo Sintomáticos
- P** Pergunta do Questionário CISS

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Motivação

Desde o século XX, que o ser humano tem vindo a desenvolver um estilo de vida cada vez mais desafiante a nível visual. O crescimento exponencial do uso de dispositivos eletrónicos, tais como os computadores e os *gadgets* do dia-a-dia que, conseqüentemente, provocam astenopia visual digital, está relacionado com os fatores de risco das disfunções acomodativas.¹⁻⁴ O valor da prevalência das disfunções acomodativas da população universitária, pode variar entre 2,29%⁵ e 15%⁶ devido à discrepância dos critérios de diagnóstico utilizados. Contudo, na maior parte dos casos, estas disfunções dificilmente são diagnosticadas e resolvidas, por causa da extensa série de procedimentos necessários para tal efeito.⁷ Recentemente, o impacto da pandemia do vírus SARS-CoV-2, realça a importância de continuar a investigação nesta área.⁸

Na prática clínica da avaliação acomodativa, são privilegiados os métodos subjetivos, tais como o *Push-up*, Sheard ou das lentes negativas, a flexibilidade acomodativa, entre outros, embora os valores obtidos por estes métodos sejam superiores aos reais e, sejam também, influenciados por outros fatores, nomeadamente, o tamanho pupilar do sujeito. Assim, de forma a aperfeiçoar a avaliação acomodativa é necessário a utilização de métodos objetivos tais como, a aberrometria que apresenta uma boa repetibilidade e reprodutibilidade no mecanismo acomodativo.⁹⁻¹³ O avanço tecnológico da aberrometria, uma técnica objetiva e não invasiva, permitiu aprofundar o conceito de aberração de onda e as suas aplicações. Sendo amplamente utilizada no dia-a-dia clínico dos profissionais de saúde, principalmente, na cirurgia refrativa e nos tratamentos corneais.^{14,15}

Há algumas décadas atrás, a comunidade científica comprovou alterações das aberrações oculares no processo da acomodação.¹⁶⁻²² Embora estas aberrações oculares possam variar entre indivíduos, como o erro refrativo, a idade, o tamanho pupilar, entre outros, a sua avaliação pelos sensores de onda e consequente expressão em polinómios de Zernike, permite interpretar melhor vários fenómenos visuais.²⁰ E, através da aberrometria é possível obter parâmetros acomodativos

objetivos como, por exemplo, a resposta e o atraso acomodativo. Recentemente, foi desenvolvido um sistema que permite avaliar, em tempo real, as alterações nas aberrações oculares ao longo da estimulação acomodativa através de um sensor de frente de onda de Hartmann-Shack, que para além da resposta e atraso acomodativo, permite obter e posteriormente analisar os seguintes parâmetros acomodativos: amplitude, latência e velocidade máxima da resposta acomodativa em pacientes com e sem disfunções acomodativas.²³

1.2 Hipóteses

- Poderá o estudo dinâmico e em tempo real da acomodação ajudar no diagnóstico precoce de disfunções acomodativas?
- Poderá a sintomatologia visual associada a problemas de acomodação ser explicada a partir da avaliação da alteração das aberrações oculares com a acomodação?

1.3 Objetivos

- Verificar se existem diferenças em parâmetros acomodativos calculados a partir de aberrometria
- Método para fazer diagnóstico precoce

Capítulo 2 - Revisão bibliográfica

Este capítulo expõe e explica conceitos fundamentais das aberrações oculares e da acomodação, quais os parâmetros que os influenciam, aborda as disfunções acomodativas, a relação entre as aberrações oculares e a acomodação tal como os métodos para estudar a acomodação.

2.1 Aberrações óticas

O olho é um sistema ótico complexo, com múltiplos componentes óticos que focam raios de luz na retina. As irregularidades óticas inerentes a estes componentes alteram o percurso original dos raios de luz, estes desvios, conhecidos como aberrações óticas, originam imagens desfocadas e um menor desempenho visual. Para além das aberrações óticas, no olho humano pode ocorrer dispersão da luz e difração.^{24,25}

O elemento mais importante no aparecimento das aberrações oculares encontra-se na superfície anterior da córnea (incluindo o filme lacrimal), uma vez este ser o primeiro componente do olho e o que possui maior poder ótico. O segundo elemento trata-se da pupila, dado que influencia a quantidade de luz que alcança a retina. E o último, o cristalino, devido às das alterações da espessura do mesmo.²² Contudo, segundo diversos estudos, a córnea possui aberrações que se neutralizam, visto que a aberração total ocular é constantemente inferior, tanto da superfície anterior da córnea como do cristalino.^{24,26-28}

As aberrações presentes nos componentes óticos associados ao olho podem ser divididas em aberrações cromáticas e em aberrações monocromáticas. As primeiras consistem em consequências da dispersão nos componentes oculares que não serão abordadas nesta dissertação e as segundas estão limitadas a um comprimento de onda particular no espectro da luz visível.²⁹

2.1.1 Aberrações de frente de onda

O conceito de frente de onda pressupõe a normalidade da trajetória dos raios luminosos que corresponde à imagem projetada na retina. Contudo, os diversos elementos presentes no olho contêm defeitos óticos que alteram o percurso dos raios luminosos. Este desvio da frente de onda é denominado como aberração de frente de onda. Normalmente, é representada em mapas através dos polinómios de Zernike.²⁹

2.1.2 Aberrações oculares monocromáticas

2.1.2.1 Polinómios de Zernike

As aberrações oculares de frente de onda que surgem ao longo da modificação da luz no seu percurso através dos meios oculares são medidas por sensores de frente de onda e representadas, principalmente, pelos polinómios de Zernike.³⁰ Estes permitem a interpretação das aberrações oculares mencionadas pois são utilizados pela comunidade científica e podem ser apresentados em forma de pirâmide. Tal como se pode observar na figura 1, a pirâmide mencionada está organizada da seguinte forma: a primeira linha corresponde à ordem zero, a segunda linha corresponde à primeira ordem e assim sucessivamente.³¹

Cada termo de Zernike (Z) equivale ao Root Mean Square (RMS) da aberração de frente de onda do próprio polinómio e é expresso pela seguinte forma:^{32,33}

$$z_m^n(\rho, \theta)$$

na qual:

n= ordem do radial polinomial (entre zero e um número inteiro positivo),

m= frequência angular da componente sinusoidal (para um dado n, m só pode assumir valores de -n, n, +2, +4, etc), fase cosseno corresponde a +m e a fase sinusoidal a -m,

ρ = coordenação radial (entre 0 e 1),

θ = composto azimutal (entre 0 e 2).

- **Aberrações de baixa ordem**

As aberrações de baixa ordem (*Low Order Aberration* - LOA) iniciam-se com a aberração constante Piston (z_0^0) que corresponde ao único coeficiente da ordem 0. De seguida, na primeira ordem, encontra-se as aberrações Y- Tilt (z_1^{-1}) e a X- Tilt (z_1^1). Por fim, os termos da segunda ordem correspondem às ametropias comuns tais como miopia ou hipermetropia, sendo o seu termo o defocus (z_2^0) positivo e negativo, respectivamente. Esta ordem também contém o astigmatismo primário, 45-astig (z_2^{-2}) e 0-astig (z_2^2), tal como se verifica na figura 1. As ametropias mencionadas são facilmente compensadas pelo uso de óculos, lentes de contacto e cirurgia refractiva.^{31,34,35} As LOA equivalem a aproximadamente 85% das aberrações oculares totais.³¹

- **Aberrações de alta ordem**

A partir da terceira ordem dos polinómios de Zernike, as aberrações denominam-se como aberrações de alta ordem (*High Order Aberration* - HOA) e são imperfeições visuais mais complicadas do que as LOAs. Até ao presente momento, existem melhorias na medição destas aberrações, que permitem modelos de óculos e de lentes de contacto especializados a corrigi-las, contudo são necessárias mais pesquisas científicas nestes métodos de compensação. Com o recente avanço tecnológico, é possível perceber melhor as HOAs tanto na forma como se comportam como na formação da imagem retiniana, o que se torna benéfico pelo facto de a maior parte da população possuir uma pequena percentagem de aberrações de ordem superior nos seus olhos. Algumas consequências visuais das HOAs podem ser: dificuldade para visão de longe, halos e/ou visão dupla.³¹ Em relação à terceira ordem, encontram-se os termos y-Trefoil (z_3^{-3}), coma vertical (z_3^{-1}), coma horizontal (z_3^1) e o x-Trefoil (z_3^3). Na quarta ordem são usados os termos y-tetrafoil (z_4^{-4}), y-astigmatismo secundário (z_4^{-2}), aberração esférica (z_4^0), x-astigmatismo secundário (z_4^2) e o x-trefoil (z_4^4). Na quinta ordem apresentam-se os termos o y-pentafoil (z_5^{-5}), o y-trefoil secundário (z_5^{-3}), v-coma secundário (z_5^{-1}), h-coma secundário (z_5^1), o x-trefoil secundário (z_5^3) e y-pentafoil (z_5^5). Por fim, a sexta ordem é composta por os seguintes termos: hexafoil (z_6^{-6} e z_6^6), tetrafoil secundário (z_6^{-4}), astigmatismo terciário (z_6^{-2}) e (z_6^2), aberração esférica secundária (z_6^0) e tretafoil secundário (z_6^4).^{31,34} Como pode ser observado na figura 1.

A terceira e a quarta ordem contém os termos mais frequentemente encontrados no sistema visual do ser humano.^{31,34}

As HOAs representam aproximadamente 10% a 15% das aberrações oculares totais num olho emétrepe. Apesar de ser uma percentagem baixa, existem estudos que comprovam a sua influência negativa na visão e o seu aperfeiçoamento quando compensadas, sobretudo, na qualidade de imagem do olho.^{24,31,35}

Na aberração coma existe uma deformação da imagem retiniana no momento em que a luz, ao alcançar o olho, não entra paralelamente ao sistema ótico. Apresenta alterações na forma como, por exemplo, a deformação de estrelas com a manifestação de uma cauda de cometa. Já na aberração esférica, a imagem retiniana torna-se desfocada devido a alterações de distâncias focais tais como mudanças em relação ao tamanho pupilar.³¹

O desempenho visual é inversamente proporcional ao valor do termo de Zernike. Na medida em que, se este valor for alto, irá corresponder a uma aberração com um *Root Mean Square* (RMS) total também alto, o que resulta num pior desempenho visual.³⁶

A utilização dos polinómios de Zernike torna-se inconveniente na avaliação de olhos com irregularidades óticas como o caso da patologia queratocone e, devido ao facto de não representar, o efeito relativo correspondente de cada aberração no desempenho visual.³⁷

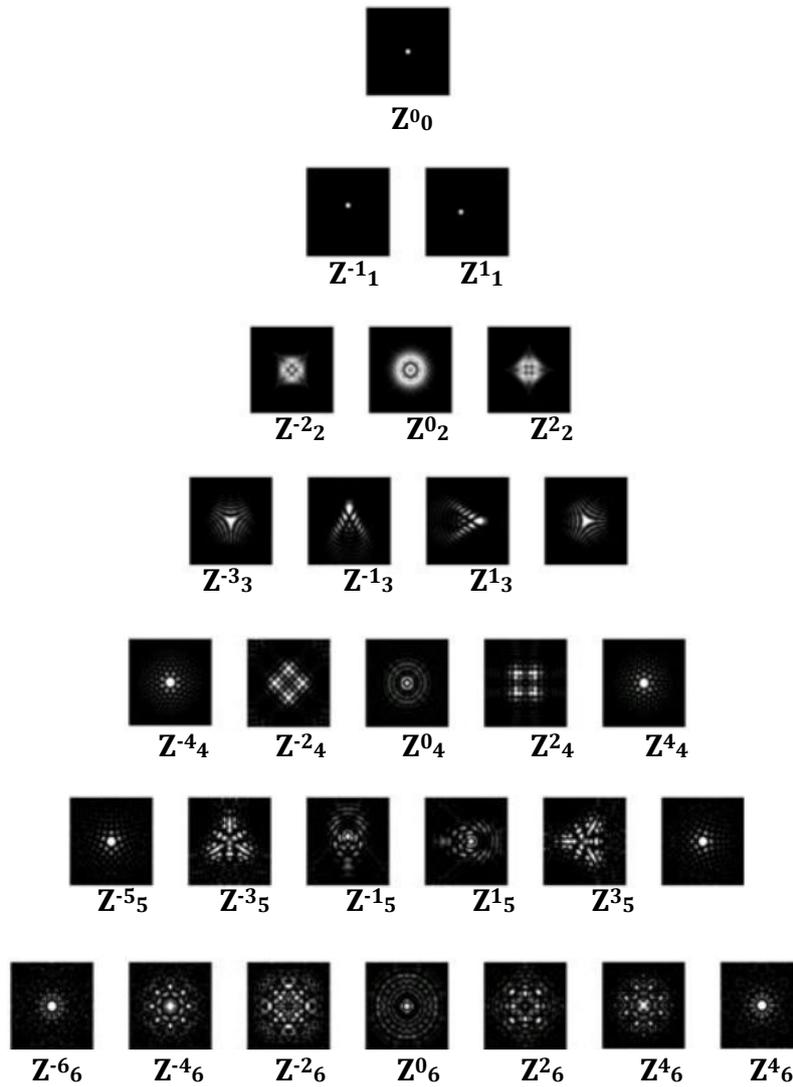


Figura 1: As aberrações oculares representadas pelos polinómios de Zernike (até à sexta ordem) em PSF para um tamanho pupilar de 4 mm. ^{34,35,38} (adaptado)

2.1.2.2 RMS

A RMS, *Root Mean Square*, é uma métrica frequentemente utilizada para descrever a qualidade ótica³⁹ a partir da ortogonalidade dos coeficientes de Zernike (equação 1). Esta métrica descreve o desvio-padrão do erro da frente de onda nos diversos pontos da zona pupilar e, quanto maior esta for, maior a aberração de onda e, conseqüentemente, menor a acuidade visual do sujeito (pior a qualidade de imagem).²⁴ Cada termo de Zernike demonstra o erro de frente de onda do quadrado médio da raiz (RMS) desse termo.³¹

A sua equação matemática é a seguinte:

$$\text{RMS}^2 = \sum (Z_n^m)^2 \quad \text{Equação 1}$$

2.1.2.3 MTF

A *Modulation Transfer Function*, MTF, consiste na avaliação do contraste da imagem à medida que a frequência espacial de um objeto se altera como, por exemplo, a interpretação do teste da sensibilidade visual ao contraste. A sua modulação, situa-se entre zero e um, na medida em que o resultado um representa o olho em que não existe deterioração da imagem, enquanto que o resultado zero, significa que a imagem é plenamente deteriorada.²⁴

2.1.2.4 PSF

A PSF, *Point Spread Function*, consiste na avaliação da imagem de um objeto pontual resultante do processo visual do olho. No sistema ótico ideal, as imagens provêm de objetos específicos na qual a imagem retiniana é consistente e possui alto contraste, ou seja, um disco *Airy*. Sendo o olho, um sistema ótico imperfeito, a imagem resultante será menos consistente, de menor contraste e mais desfocada.^{24,40}

2.1.3 Variações das aberrações oculares

2.1.3.1 Entre indivíduos

Até ao presente momento, não foi encontrado um padrão singular de distribuição das aberrações oculares nas populações estudadas, devido à observação de uma grande de variabilidade inter-sujeito. Num estudo de Castejón-Mochón *et al.*, realizado com um aberrómetro comercial Shack-Hartmann e um tamanho pupilar de 5 mm, os erros de frente de onda mais frequentes correspondem aos erros de refração: miopia (defocus positivo), hipermetropia (defocus negativo) e astigmatismo (primário que pode ser oblíquo e vertical).²⁵ Numa população emétrepe, com o mesmo tipo de aberrómetro e para um diâmetro pupilar de 6 mm, encontraram um valor médio de RMS de aberrações de ordem superior equivalente a 0,20D (0,26µm).⁴¹ Novamente, com o aberrómetro de Shack-Hartmann, foi observada uma elevada variabilidade entre os sujeitos. Contudo, para um tamanho

pupilar de 5,7 mm, a única aberração que teve um valor médio diferente de zero foi a aberração esférica e o seu valor foi de $0,138 \pm 0,103 \mu\text{m}$.³⁰

Embora exista uma variabilidade inter-sujeito relativamente às aberrações de frente de onda, foi observada uma possível simetria entre os olhos direitos e esquerdos⁴², principalmente para os termos de terceira e quarta ordem.²⁵

2.1.3.2 Erro Refrativo

Recentemente, as aberrações monocromáticas têm sido alvo de estudo de forma a entender a sua interação com as ametropias, especialmente, a miopia. De facto, vários estudos, revelam um valor das aberrações de alta ordem, superior em míopes do que em emétopes.⁴³⁻⁴⁶

As limitações presentes sobre a alteração das aberrações oculares com o erro refrativo, consistem no facto de a maior parte dos estudos serem transversais e de estarem sujeitos à alta variedade entre estes. Não é possível perceber se o aumento das aberrações de alta ordem leva à progressão miópica ou vice-versa. No *Sydney Adolescent Vascular and Eye Study*, após indução miópica, houve uma alteração positiva na aberração esférica que levou a um erro refrativo mais hipermetrope. Todavia, nos sujeitos emétopes, foi constatado que a diferença entre a aberração esférica e o desenvolvimento miópico relaciona-se com as mudanças que o cristalino sofre no seu desenvolvimento.⁴⁷

Os sujeitos hipermétropes apresentam um valor de aberração esférica total maior do que os emétopes, tal como míopes, para o tamanho pupilar de 6,5 mm. Relativamente às aberrações esféricas internas, encontram-se alterações relevantes nos pacientes hipermétropes na medida em que ao, envelhecerem, apresentam valores positivos.⁴⁸

2.1.3.3 Índice de Refração de Gradiente

As HOAs progridem à medida que o sujeito envelhece.²⁰ Foi encontrada uma interdependência estatisticamente relevante entre a idade e a aberração esférica assim como nos termos da quinta ordem.²⁶

O equilíbrio entre as aberrações corneais e internas, que normalmente é encontrado em indivíduos mais novos, decresce à medida o sujeito envelhece, devido a mudanças na superfície anterior da córnea e na fisionomia do

crystalino.^{20,22,24} Isto traduz-se num aumento das aberrações oculares e, por conseguinte, numa perda de qualidade da imagem retiniana. Foi observado que a aberração esférica progride substancialmente com o avanço da idade, o mesmo se verificou com a RMS corneal²⁶ e com o coma total.^{20,24}

Segundo Glasser e Campbell⁴⁹ tal como Birkenfeld *et al.*⁵⁰, a aberração esférica total desenvolve-se como consequência da alteração positiva da aberração esférica do cristalino à medida que o indivíduo envelhece.

2.1.3.4 Diâmetro pupilar

Nas pupilas menores, existe uma predominância dos efeitos de difração simultaneamente com a dimensão restrita da abertura em relação às aberrações que por conseguinte, leva a um aumento da profundidade de foco e à minimização da quantidade das aberrações de alta ordem.⁴²

Embora as aberrações de alta ordem prejudiquem menos a visão do que, por exemplo o termo *Defocus*, em pupilas maiores este efeito é potenciado. Assim, à medida que a pupila aumenta, a qualidade ótica da imagem retiniana diminui e as aberrações aumentam cerca de 3% a 14% (para um tamanho pupilar entre 2 e 7 mm). A RMS total do erro aumenta à medida que a pupila dilata.²⁵

2.1.3.5 Película lacrimal

A lágrima também pode influenciar as micro-flutuações das HOAs na medida em que a sua consistência varia consoante a evaporação e/ou o pestanejo do sujeito ao longo do dia.⁵¹ Se estas variações se encontrarem dentro dos parâmetros normais podem-se desvalorizar. O mesmo não se pode aplicar em sujeitos com patologias como por exemplo queratocone.²⁰

2.1.3.6 Comprimento de onda

A medida do erro refrativo e antecipação do desempenho visual é feita através das aberrações calculadas no espectro visível. Contudo, de forma geral e a deixar o paciente mais cómodo possível, são medidas as aberrações na radiação infravermelha. Em termos de resultados das estimativas das aberrações de alta ordem, quer na radiação infravermelha quer no espectro visível, estes são bastante semelhantes para sujeitos emétopes.^{52,53}

2.1.4 Aberrometria - Medição das aberrações monocromáticas

A luz monocromática, ao entrar no sistema ótico do olho, sofre alterações óticas, denominados erros de frente de onda e são medidas por um aberrómetro de frente de onda. Contudo, a dispersão da luz, as aberrações cromáticas e a difração precisam de ser avaliadas por outros recursos. A determinação das aberrações (transversais) é feita através da pupila, de acordo com o feixe de luz. É denominada aberrometria de entrada de frente de onda quando se utilizam os aberrómetros que avaliam o feixe de luz incidente no olho, como por exemplo, o traçado a laser (LRT) ou o aberrómetro Tscherning. Por outro lado, quando se usam os aberrómetros que avaliam o feixe de luz “refletido” da superfície ocular, a técnica passa a designar-se aberrometria de saída de frente de onda, como é o caso do aberrómetro de frente de onda Shack-Hartmann *sensor* (SH).^{31,54} No aberrómetro de Tscherning, é possível determinar a posição do feixe na retina, através da emissão de um pequeno feixe de laser no olho (paralelo ao eixo visual) com recurso a um fotodetector. O laser é deslocado após cada posição do ponto de luz na retina ser avaliada de forma a medir a alteração das aberrações.^{31, 52}

- **Sistema de Shack-Hartmann**

Este sistema consiste na avaliação da imagem da retina do olho, após a emissão de um feixe de luz pelo laser, sob a forma de frente de onda “refletida”. O percurso desta frente de onda “refletida”, que é registado pelo sensor de frente de onda Hartman-Shack (alinhado com a pupila), passa por um kit de lentes micro e, de seguida, por uma câmara *Charged-Coupled Device* (CCD).⁵⁵ Nesta câmara CCD, a frente de onda “refletida” é fragmentada num conjunto de pontos situados no plano focal do *kit* das lentes, como pode ser observado na figura 2.^{31,55,56}

Idealmente, os pontos que foram refletidos pela retina equivaleriam aos pontos focais de cada lente micro, que se denomina modelo de referência. Contudo, como o olho não é um sistema ótico perfeito e contém aberrações, produz um conjunto de pontos refletidos pela retina desviados dos pontos focais do *kit* de lentes micro. A frente de onda ocular pode ser obtida a partir da medição dos desvios entre os pontos focais da onda aberrada com os pontos focais de referência, pois esta distância é proporcional ao declive da frente de onda.^{53, 54} Através da aberrometria

é possível obter vários parâmetros tais como: os mapas de fase dos coeficientes de Zernike, a RMS, a PSF, a MTF e a *Peak to Value* (PV).⁵⁸

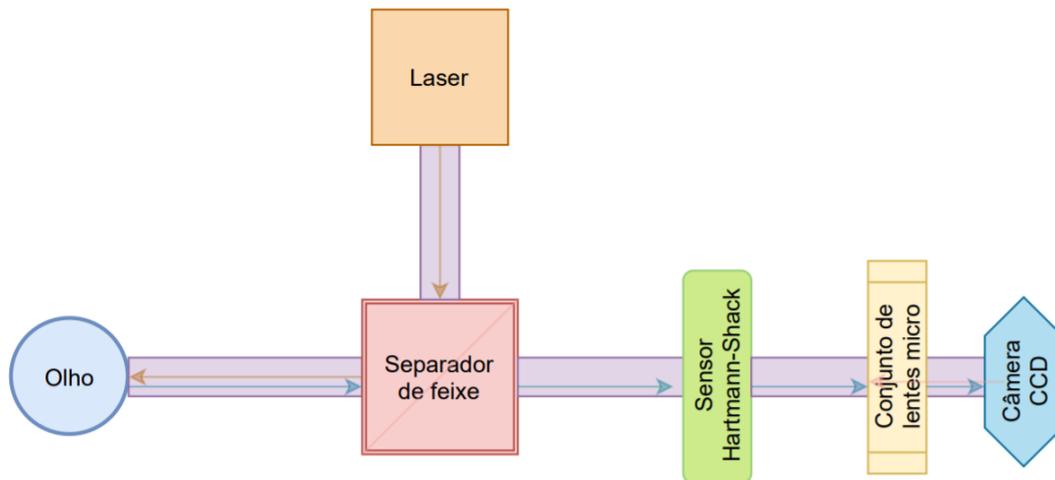


Figura 2: Representação esquemática do aberrômetro de SH. 54,57 (adaptado)

No estudo de Visser⁵⁹, o aberrômetro Hartmann-Shack mostrou a melhor repetibilidade para aberrações oculares totais entre aberrômetros de Tscherning e retinoscopia automatizada, para uma pupila de 5 mm. Wang *et al.*²², relata a vasta utilidade deste aberrômetro na medida em que é altamente preciso⁵⁶, tal como, a sua utilidade em gerar valores em tempo real. É considerado o aberrômetro mais rápido^{54, 55} em comparação aos aberrômetros de Tscherning e de LRT.

- **Aplicações clínicas de aberrometria**

O avanço tecnológico da aberrometria permitiu aprofundar o conceito de aberração de onda e as suas aplicações, sendo amplamente utilizadas no dia-a-dia clínico dos profissionais de saúde. São aplicadas nas cirurgias refrativas, na contactologia e nos tratamentos corneais.^{14,15}

Devido ao facto da quantidade de HOAs aumentar logo após a cirurgia refrativa, no estudo de Fares *et al.*, foi concluído que a técnica de cirurgia refrativa com recurso ao estudo das aberrações de frente de onda do olho do sujeito apresentava um valor pós-cirúrgico menor de HOAs comparativamente à técnica de ablação anteriormente estabelecida segundo informações óticas gerais da população.⁶⁰

2.2 Acomodação

O olho humano altera a sua potência ocular ao focar um objeto, para criar uma imagem retiniana nítida, a este mecanismo denomina-se acomodação.⁶¹

O início da acomodação leva à contração do músculo ciliar que por sua vez, se desloca para a frente e em direção ao centro do cristalino, o que reduz a tensão nas fibras zonulares. Assim, é originado um aumento da espessura central do cristalino, este torna-se mais curvo, com ênfase na sua superfície anterior e adota uma forma mais esférica. Este aumento dióptrico ocular, origina imagens retinianas nítidas para objetos em visão de perto. Quando o estímulo acomodativo cessa, o músculo ciliar relaxa e a tensão nas fibras zonulares é restaurada. O cristalino volta ao seu estado não acomodado que se apresenta numa forma mais achatada como consequência da diminuição da sua curvatura posterior e anterior. Esta diminuição dióptrica, permite focar objetos em visão de longe.^{9, 58-60}

O mecanismo explicado baseia-se na teoria de Hemholtz e de Fincham, que já foi comprovada *in vivo* e *in vitro*.^{20, 58, 61, 62}

A resposta acomodativa divide-se em duas categorias:

- **Resposta acomodativa estática**

Esta resposta acomodativa corresponde à maior diferença dióptrica que ocorre quando é apresentado um estímulo acomodativo ao olho ao longo de várias distâncias. Encontra-se representada na figura 3, tal como é demonstrada a diferença entre a resposta acomodativa real e a ideal. No estado relaxado do sistema acomodativo, ou seja, quando o objeto está num ponto distante e o estímulo acomodativo tem um valor baixo (até sensivelmente 2 D), o olho apresenta um adianto acomodativo (figura 3). Isto acontece sempre que a resposta acomodativa é maior ao valor do estímulo acomodativo. Para valores de estímulos acomodativos elevados (maiores do que aproximadamente 2D), a resposta acomodativa é, normalmente, menor do que o estímulo acomodativo e assim, o olho apresenta um atraso acomodativo (figura 3).^{40,65}

O seu valor normal encontra-se entre 0,25 e 0,75 D⁶⁶ e o tempo de reação médio situa-se no intervalo de 370 a 500 ms.⁶⁷ Este parâmetro pode ser

influenciado pela variabilidade inter-sujeito, o estímulo ocular e a profundidade de foco.⁶¹

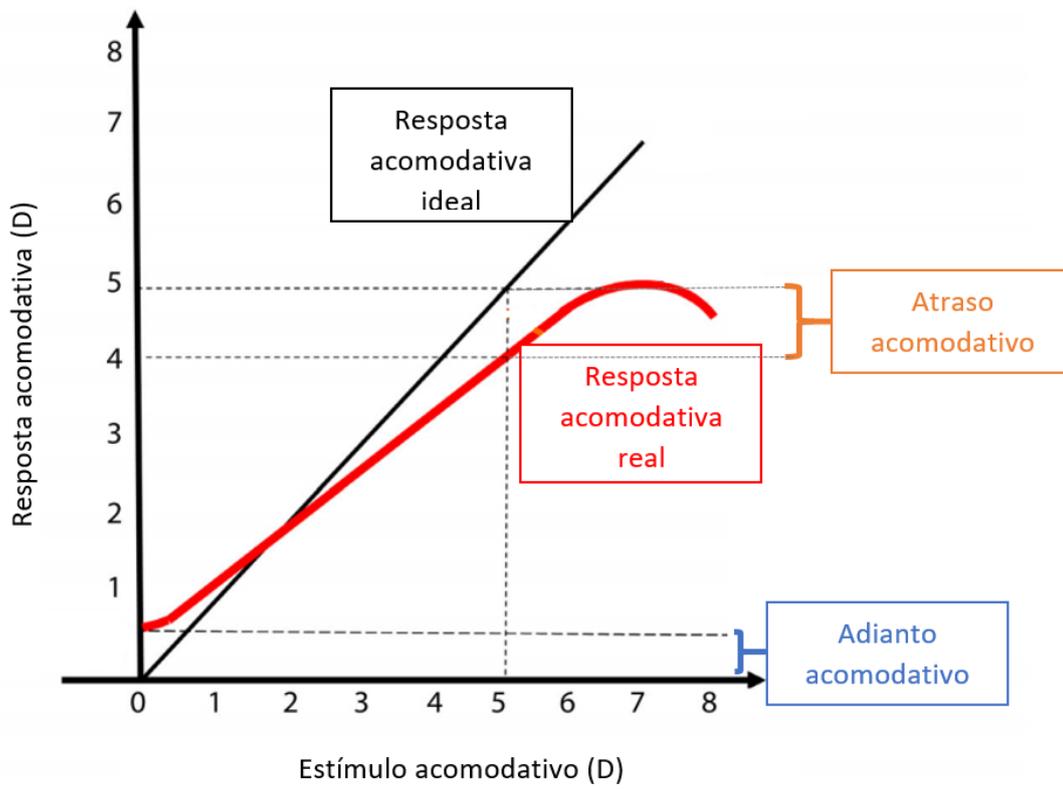


Figura 3: A resposta acomodativa em função do estímulo acomodativo⁶⁰ (adaptado)

- **Resposta acomodativa dinâmica**

A resposta acomodativa dinâmica é obtida através da apresentação de diversos estímulos acomodativos ao olho, enquanto se determina a sua reação.⁶⁵ Esta avaliação é feita através de inúmeras métricas. Das quais se destacam as seguintes: a latência de acomodação (seta vermelha na figura 4), que corresponde ao tempo entre o início do estímulo acomodativo e o início da resposta acomodativa; o tempo de resposta (seta verde da figura 4), que consiste no tempo entre o início do estímulo acomodativo até ao ponto máximo da resposta acomodativa e a velocidade de pico, que provém do ponto máximo de velocidade que uma resposta acomodativa pode ter.^{66,67}

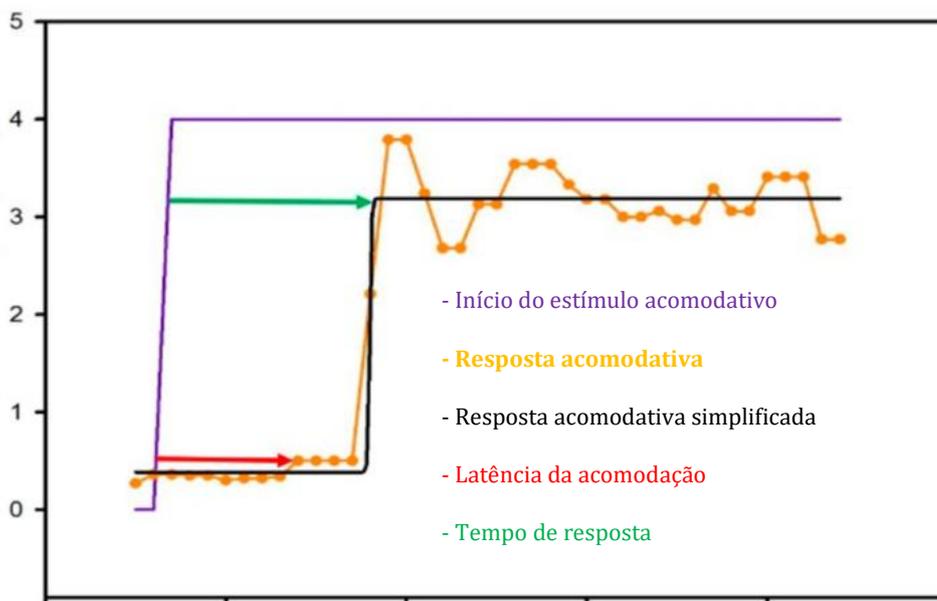


Figura 4: Representação gráfica da resposta acomodativa dinâmica⁶⁸ (adaptado)

2.2.1 Variações da acomodação ocular

2.2.1.1 Entre indivíduos

A variedade dos resultados da amplitude acomodativa de cada sujeito, com a mesma idade, é elevada. Esta diferença foi verificada, recentemente, em estudos com avaliações subjetivas tal como objetivas da acomodação.^{9, 68} No estudo de López-Alcón⁷¹, foi observado que esta diferença não é explicada por factores óticos (por exemplo, o diâmetro pupilar ou a aberração esférica) mas é sugerido que pode ser produzida por alterações anatómicas.

2.2.1.2 Erro Refrativo

O grupo dos sujeitos emétopes e hipermétropes, no estudo de Allen e O'Leary⁷², apresentaram em média, valores da amplitude de acomodação consideravelmente menores do que os sujeitos míopes. O primeiro grupo ainda manifestou um valor mais elevado na flexibilidade acomodativa monocular realizada a seis metros do que o segundo grupo. Foi verificado o mesmo nos estudos de McBrien e Millodot⁷³ e de Maheshwari *et al.*⁷⁴, nomeadamente, o valor médio da amplitude de acomodação aumentava consoante a seguinte ordem refrativa: hipermetropia, emetropia e miopia.

2.2.1.3 Idade

A acomodação começa a ficar debilitada ao longo do percurso da vida, devido à perda da flexibilidade da lente cristalina e, principalmente, ao aumento da sua rigidez.¹¹ Adicionalmente, a deterioração das fibras zonulares e dos músculos ciliares que envolvem o cristalino, potencia esta debilitação. Como consequência, a amplitude de acomodação diminui sucessivamente na medida em que o sujeito não consegue focar objetos em visão de perto (processo denominado presbiopia).⁷⁵

2.2.1.4 Diâmetro pupilar

De acordo com Lara *et al.*⁷⁶, o diâmetro pupilar influencia o valor da acomodação obtida se for utilizada uma avaliação refrativa que englobe a aberração esférica. Assim, a alteração do diâmetro pupilar provoca a alteração da aberração esférica e, por consequente, da acomodação ocular. É também referido que a diminuição da luz ambiente e, assim a dilatação da pupila, leva à diminuição da acomodação ocular, o que pode ser explicado pela multifocalidade ocular com o maior diâmetro pupilar e o incremento da profundidade de campo.

2.2.2 Disfunções acomodativas

A classificação das disfunções acomodativas sofreu alterações ao longo das últimas décadas. Desde as primeiras tentativas no início do século XX de Duane⁷⁷, até mais recentemente ao trabalho de Scheiman e Wick⁷⁸, foi possível categorizar a acomodação em cinco disfunções:

- **Insuficiência acomodativa**

A insuficiência acomodativa identifica-se consoante um valor estável e baixo do parâmetro da amplitude acomodativa em relação ao valor expectável para a idade do sujeito.⁷⁹ Esta anomalia segundo Lara *et al.*⁸⁰, pode não ser distinguida de uma hipermetropia latente (por diagnosticar) pois uma ampla porção acomodativa já está a ser utilizada.

- **Fadiga acomodativa**

A recorrência ao uso da acomodação manifesta a fadiga acomodativa embora numa primeira fase o paciente apresente uma amplitude de acomodação normal para a idade. O valor da amplitude acomodativa deve ser obtido várias vezes no sentido de diagnosticar esta disfunção.⁸¹

- **Excesso acomodativo**

Os espasmos dos músculos ciliares induzem um valor de amplitude acomodativa maior ao expectável para a idade do sujeito o que leva a um valor acomodativo igualmente superior. No estudo de Rutstein *et al.*⁸², foi referido como espasmo acomodativo devido à resistência do relaxamento acomodativo. Segundo Porcar e Martinez-Palomera⁸³, esta anomalia acomodativa consiste na mais frequente dentro da população universitária.

- **Inflexibilidade acomodativa**

A inflexibilidade acomodativa caracteriza-se pela diminuição dos seguintes parâmetros acomodativos dinâmicos: resposta (latência), constante de tempo e velocidade máxima. Como consequência leva a complicações na capacidade de relaxar e estimular a acomodação, apesar da amplitude de acomodação ter um valor normal.⁷⁸

- **Paralisia acomodativa**

A paralisia acomodativa apresenta-se como uma insuficiência acomodativa repentina e pode ter duas causas: perturbações do sistema nervoso ou presença de substâncias tóxicas (defeitos congénitos e utilização imprudente de medicação, respetivamente). Trata-se de uma anomalia incomum, e que se apresenta mais frequentemente na forma unilateral e com um diâmetro pupilar dilatado.^{76, 82}

Os principais sinais clínicos e sintomas de cada disfunção estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1: Principais sinais clínicos e sintomas das anomalias acomodativas.^{76, 82, 83} (adaptado)

Anomalia	Principais sinais clínicos	Principais sintomas	Autor
Insuficiência acomodativa	(1) Diminuição da amplitude acomodativa de pelo menos 2D (2) Diminuição da ARP (3) Aumento do atraso acomodativo (4) Dificuldade no teste de flexibilidade acomodativa com as lentes negativas	(1) Evitar realizar tarefas de perto e/ou presença de astenopia durante as mesmas	Scheiman e Wick(2001) ⁷⁸
Fadiga acomodativa	(1) Valor da amplitude acomodativa normal no primeiro teste (2) Valor da amplitude acomodativa diminui ao longo da repetição do teste (3) Aumento do atraso acomodativo (4) Diminuição da ARP (4) Dificuldade no teste de flexibilidade acomodativa com as lentes negativas	(1) Astenopia em tarefas de perto	Darko-Takyi <i>et al.</i> (2007) ⁸⁵
Excesso acomodativo	(1) Acuidade visual inconstante (2) Valor da amplitude acomodativa normal ou alto (3) Diminuição do atraso acomodativo (4) Diminuição da ARN (5) Dificuldade no teste de flexibilidade acomodativa com as lentes positivas	(1) Astenopia em tarefas de perto (2) Visão desfocada inconstante na visão de longe e perto	Scheiman e Wick(2001) ⁷⁸
Inflexibilidade acomodativa	(1) Diminuição da ARN e ARP (2) Dificuldade no teste de flexibilidade acomodativa com as lentes positivas e negativas	(1) Astenopia em tarefas de perto (2) Visão desfocada e inconstante na visão de longe e perto	Scheiman e Wick(2001) ⁷⁸
Paralisia acomodativa	(1) Sinais da insuficiência acomodativa (2) Pupila dilatada	(1) Astenopia repentina em tarefas de perto	Daum(1983) ⁸⁴

ARP: Acomodação relativa positiva; ARN: Acomodação relativa negativa

2.2.3 Dificuldades de diagnóstico

Recentemente, observa-se um aumento do uso de dispositivos eletrônicos que se interliga com a astenopia digital e com os fatores de risco das disfunções acomodativas.¹⁻⁴ A repercussão da pandemia provocada pelo vírus SARS-CoV-2, realça a importância de continuar a investigação nesta área.⁸

A prevalência das disfunções acomodativas varia entre estudos, contudo, estas disfunções são regularmente observadas na prática clínica.^{5,7,77,81} A população mais jovem, especialmente os estudantes universitários, apresenta uma prevalência destas disfunções entre 2,29%⁵ e 15%.⁶

O valor da prevalência e o estudo das disfunções acomodativas torna-se complexo de se realizar devido à carência de conclusões científicas pertinentes, à grande variabilidade dos resultados dos estudos e, nomeadamente, à discrepância dos critérios de diagnóstico utilizados. De facto, dependendo do estudo em consideração é possível encontrar critérios de diagnóstico diferentes como se verifica na tabela 2. No estudo de Lara *et al.*⁸⁰, foi possível aferir que um diagnóstico com um maior número de sinais incluídos leva a uma menor prevalência da anomalia estudada.

De forma geral, os sintomas dos participantes são considerados como um parâmetro dos critérios de diagnóstico das disfunções acomodativas (tabela 3). Contudo, a forma discrepante da sua abordagem nos diversos estudos influencia as respostas obtidas. Uma grande limitação existente, consiste no facto de não existirem questionários exclusivos que permitam perceber a presença e a constância dos sintomas das anomalias acomodativas como existe para a insuficiência de convergência amplamente validado, conhecido por CISS (*Convergence Insufficiency Symptom Survey*).⁸⁶

Tabela 2: Síntese dos diferentes sinais clínicos utilizados por diversos autores para estabelecer os critérios de diagnóstico nas disfunções acomodativas (adaptado) ^{5,7,66,80,83,87}

Disfunção acomodativa	Critérios de diagnóstico		Autor
	Sinais fundamentais	Sinais secundários	
Insuficiência acomodativa	(1) AmA menor em 2,00 D do valor esperado para a idade pela seguinte fórmula: $15 - 0,25 \times \text{idade}$ Equação 2	(1) FA monocular < 6 cpm (dificuldade com lentes -2,00 D) (2) FA binocular < 3 cpm (dificuldade com lentes -2,00 D) (3) MEM > 0,75 D (4) ARN < 1,25 D	García-Muñoz <i>et al.</i> (2016) ⁵
	(1) AmA menor em 2,00 D do valor esperado para a idade (pelo método Push-up) para a idade pela fórmula e Hofstetter's: $15 - 0,25 \times \text{idade}$ (2) FA monocular <6 cpm (dificuldade com lentes -2,00 D) (3) FA binocular <3 cpm (dificuldade com lentes -2,00 D) (3) ARP \leq 1,25 D (valor baixo) (4) MEM \geq 0,75 D (valor alto) (5) Cilindros cruzados > 1,00 D (valor alto)		Porcar and Martinez-Palomera(1997) ⁸³ e Lara <i>et al.</i> (2001) ⁸⁰
	(1) AmA menor em 3,00 D do valor esperado para a idade (2) FA entre 3 a 8 cpm (dificuldades com lentes -2,00 D) (3) MEM >1,00 D		Dwyer(1991) ⁶⁶
Excesso acomodativo	(1) FA monocular <6 cpm (dificuldade com lentes +2,00 D)	(1) ARP \geq 3,50 D (2) FA binocular <6cpm (dificuldade com lentes 2,00 D) (3) MEM < 0,25 D (4) ARN < 1,50 D	García-Muñoz <i>et al.</i> (2016) ⁵
	1) AV oscilante (2) Valor baixo de astigmatismo contra-a-regra (3) FA monocular < 6cpm (dificuldade com lentes 2,00 D) (4) FA binocular < 3 cpm (dificuldade com lentes 2,00 D) (5) MEM \leq 0,25 D (6) Cilindros cruzados \geq a 1,00 D (valor baixo)		Porcar e Martinez-Palomera (1997) ⁸³
	É obrigatória a presença dos sinais de 1, 2 e 3 tal como dois sinais entre 4 a 6. (1) AV oscilante (2) Valor da retinoscopia estática e da refração subjetiva oscilante (3) FA monocular \leq 6 cpm (dificuldade com lentes 2,00 D) (4) FA binocular \leq 3 cpm (dificuldade com lentes 2,00 D) (5) MEM baixo < 0,25 D (6) ARN < 1,50 D		Lara <i>et al.</i> (2001) ⁸⁰
	1) FA \leq 3 cpm (dificuldade com lentes 2,00 D) (2) ARN e ARP entre 0,00 e 1,00 D (3) MEM \leq -0,50 D		Dwyer(1991) ⁶⁶
	(1) FA monocular \leq 6 cpm (dificuldade com lentes -2,00 D) (2) FA binocular \leq 3 cpm (dificuldade com lentes 2,00 D) (3) MEM <0 (4) ARP \geq 3,50 D (valor alto) (5) ARN \leq 1,50 D		Cacho-Martínez <i>et al.</i> (2014) ⁷
Inflexibilidade acomodativa	(1) FA monocular <6 cpm \pm 2,00 D	(1) FA binocular <3 cpm (dificuldade com lentes \pm 2,00 D) (2) ARP <1,25 D (3) ARN <1,50 D	García-Muñoz <i>et al.</i> (2016) ⁵
	(1) FA monocular <6 cpm com lentes \pm 2,00 D (2) FA binocular <3 cpm (dificuldade com lentes \pm 2,00 D) (3) ARP \leq 1,25 D (4) ARN \leq 1,50 D		Porcar and Martinez-Palomera(1997) ⁸³ e Lara <i>et al.</i> (2001) ⁸⁰
	(1) FA monocular <6 cpm com lentes \pm 2,00 D (2) FA binocular <3 cpm (dificuldade com lentes \pm 2,00 D) (3) ARP \leq 1,25 D (4) ARN \leq 1,50 D		Hussaindeen <i>et al.</i> (2017) ⁸⁷

AmA = Amplitude acomodativa; FA = Flexibilidade acomodativa; MEM = *Monocular Estimate Method*; ARP = Acomodação Relativa Positiva; ARN = Acomodação Relativa Negativa; D = dioptria; cpm = ciclos por minuto; AV= Acuidade Visual

Tabela 3: Resumo dos diferentes sintomas contabilizados por diversos autores nas disfunções acomodativas.^{5, 7, 78, 85} (adaptado)

Disfunção acomodativa	Sintomas de diagnóstico	Autor
Insuficiência acomodativa	(1) Visão desfocada em tarefas de perto (2) Desconforto e astenopia em tarefas de visão de perto (3) Dificuldade de atenção e concentração na leitura	Lara <i>et al.</i> (2001) ⁸⁰
	(1) Visão desfocada (2) Dificuldade na realização do trabalho acadêmico (3) Secura ocular ou com sensação de areia nos olhos (4) Astenopia	Cacho-Martínez <i>et al.</i> (2014) ⁷
Excesso acomodativo	(1) Olhos vermelhos em visão de perto (2) Olhos irritados em visão de perto (3) Fadiga visual em visão de perto	García-Muñoz <i>et al.</i> (2016) ⁵
	A maioria dos sintomas estão associados à leitura ou outra tarefa de visão de perto: (1) Visão desfocada ao longe que se acentua após leitura ou trabalho de perto, especialmente no final do dia (2) Dores de cabeça e astenopia após períodos de leitura curtos (3) Dificuldade em alterar o foco da visão de longe para a visão de perto (4) Fotofobia	Lara <i>et al.</i> (2001) e Hussaindeen <i>et al.</i> (2017) ⁸⁷
Inflexibilidade acomodativa	Maioria dos sintomas associados à leitura: (1) Astenopia (2) Visão desfocada intermitente em tarefas de perto (3) Dificuldade em mudar de foco entre distâncias	Lara <i>et al.</i> (2001) ⁸⁰
	(1) Olhos irritados	Cacho-Martínez <i>et al.</i> (2014) ⁷
	(1) Visão de perto desfocada (2) Visão de longe desfocada após tarefas de perto e vice-versa (3) Atraso em focar objetos (4) Desconforto e astenopia em tarefas de visão de perto (5) Dificuldade de atenção e concentração na leitura	Hussaindeen <i>et al.</i> (2017) ⁸⁷

Tanto os sinais clínicos como os sintomas provocam graves complicações no dia-a-dia dos sujeitos, daí a importância de um diagnóstico preciso e correto, para se refletir no melhor tratamento possível para o paciente.⁸⁶ A investigação deste tema é relevante pois, hoje em dia, a população experiencia um estilo de vida cada

vez mais desafiante, especialmente, a nível visual. O elevado período despendido em tarefas de perto tanto, a nível profissional como de lazer, leva à necessidade de averiguar o seu impacto no sistema visual.⁵

2.3 Aberração vs acomodação

O estudo da influência das aberrações oculares no processo acomodativo, permite perceber o funcionamento da qualidade das imagens retinianas humanas.²² Neste processo, existe um aumento das aberrações oculares como resposta à alteração da forma da lente do cristalino.¹⁴ Wang *et al.*²² e He *et al.*⁸⁸, encontraram um aumento das HOAs após a acomodação do olho, onde se teve em atenção as oscilações existentes entre sujeitos.

Após estimar as aberrações totais em conformidade com a acomodação^{16,18, 22,63}, é constatado que a aberração de alta ordem que mais influencia a acomodação é a aberração esférica e que esta, inclina-se no sentido negativo à medida que a acomodação aumenta e vice-versa. De referir que a média do valor desta aberração, em estado relaxado, é positiva. Além disso, é possível que interfira no valor do atraso ou adianto acomodativo embora esteja dependente do valor de aberração esférica no estado relaxado do olho, a métrica e o aberrómetro utilizado.⁸⁹

No caso da aberração esférica secundária, verificou-se um aumento do seu valor durante a acomodação e uma influência no processo acomodativo cerca de um terço em comparação à aberração esférica. López-Gil *et al.*, observou ainda que as duas aberrações diminuem aproximadamente 1/7 da resposta acomodativa relativamente ao estímulo.⁸⁹

Em diversos estudos^{18,88,90,91}, o aumento do valor do estímulo para acomodar o olho, resultava num aumento das aberrações. O mesmo se verificou para a métrica RMS (equação 1) antes e depois do olho acomodar¹⁸ entre o estímulo 0,00 e 6,00 D, exceto no estudo de Zhou *et al.*⁹¹, que só se verificou esta distribuição a partir do estímulo acomodativo de 4,00 D.

O cálculo da resposta acomodativa através da avaliação das ondas de aberrações, necessita incluir dois parâmetros essenciais: a relação entre HOA e LOA tal como o diâmetro pupilar.¹⁹

A aberração de frente de onda é dinâmica ao longo do tempo. O valor médio acomodativo do foco visual situa-se entre 0,03 e 0,50 D. Assim, é comum encontrar micro-flutuações das aberrações HOAs provocadas pelo cristalino no decorrer da acomodação.^{17, 22 19}

Segundo Hofer *et al.*¹⁷, as micro-flutuações da acomodação afetam a qualidade da imagem retiniana, contudo têm pouca influência na visão, em condições normais.

Em problemas acomodativos moderados, as oscilações acomodativas têm como objetivo aperfeiçoar provisoriamente a qualidade de imagem retiniana.¹⁹ Ao compensar as micro-flutuações das HOA, em tempo real, com recurso à ótica adaptativa, o atraso acomodativo medido apresenta um valor menor, isto é, uma resposta acomodativa mais precisa em comparação à medida com as aberrações inerentes do sujeito e até mesmo depois de gerar aberrações esféricas ou comas. Deste modo, através da aberrometria, é possível averiguar as oscilações acomodativas bem como medir, de forma precisa, a resposta acomodativa.²¹

2.4 Métodos para estudar a acomodação

Na prática clínica, são privilegiados os métodos subjetivos, devido à compensação acomodativa individual e a *performance* visual ideal que estes proporcionam. No entanto, existe uma carência de uniformização do método e da distância a que é realizado o procedimento. O que leva à dificuldade em equiparar estudos e a interpretação das suas conclusões. Este método para medir a acomodação, torna-se desadequado no cálculo da profundidade de campo, caso o paciente tenha um tamanho pupilar reduzido, apresente aberrações oculares e oscilações acomodativas. Outra desvantagem consiste no valor superior obtido por este método comparativamente ao valor real. Assim, de forma a aperfeiçoar a avaliação acomodativa, é necessário a utilização de métodos objetivos. Para tal, é possível recorrer a aparelhos óticos (autorefratómetros e aberrómetros) e biométricos (OCT – Tomografia de Coerência Ótica, fotografia por câmara de Scheimpflug, entre outros). Na avaliação acomodativa objetiva é recomendado a aplicação dos procedimentos óticos em detrimento dos biométricos, devido à sua vasta utilização, validação na comunidade científica e adaptabilidade na prática

clínica. Tanto os aberrômetros como os autorefratômetros apresentam uma boa repetibilidade e reprodutibilidade no mecanismo acomodativo.⁹⁻¹³

Atualmente, o estudo do mecanismo acomodativo, assenta-se na avaliação das propriedades dinâmicas acomodativas de forma a entender como o olho se comporta com estímulos acomodativos, velocidade de foco, entre outros, presentes na tabela 4.⁷⁵

Tabela 4: Testes subjetivos e objetivos utilizados na medição acomodação (adaptado)⁷⁵

Parâmetro acomodativo	Método	
	Subjetivo	Subjetivo
Amplitude de acomodação	(1) <i>Donders</i> ou <i>push-up</i> (2) Pull away (3) <i>Sheard</i> ou lentes negativas (4) Curva de desfocagem	(1) Acomodação dinâmica i. Resposta absoluta ii. Magnitude de resposta
Atraso acomodativo	(1) Cilindros Cruzados (binocular)	(1) MEM ou retinoscopia dinâmica (2) Acomodação dinâmica i. Atraso/ <i>lag</i>
Tempo da resposta acomodativa	(1) Flexibilidade acomodativa	(1) Acomodação dinâmica i. Latência da acomodação ii. Pico de velocidade iii. Constante de tempo iv. Tempo de resposta v. Tempo de reação
Sustentação da resposta acomodativa	Não aplicável	(1) Acomodação dinâmica i. Micro-flutuações

Capítulo 3 - Material e Métodos

Este capítulo pormenoriza a amostra utilizada e os critérios selecionados para este estudo. Contém a explicação do sistema que se vai utilizar na análise das alterações das aberrações oculares ao longo da estimulação acomodativa, assim como, desenvolve, passo a passo, os parâmetros utilizados para estudar a acomodação através do método utilizado.

3.1 Tipo de estudo

Esta dissertação identifica-se como um estudo observacional analítico dividido em 2 fases, realizadas no olho direito:

1. Consulta optométrica e realização de um questionário, presente no Anexo 1.
2. Aberrometria com sistema para estimular a acomodação em cada paciente de modo a obter os parâmetros necessários das aberrações oculares.

Os dados foram obtidos no gabinete de optometria e no laboratório de cores do Centro de Física da Universidade do Minho, entre 18 de outubro de 2019 a 6 de dezembro de 2021.

Este estudo foi executado conforme as diretrizes da Declaração de Helsínquia, tal como foi consentido pelo Comité de Ética para as Ciências da Vida e da Saúde da Universidade do Minho [SECVS 029/2014 (ADENDA)]. Após o esclarecimento do procedimento assim como, o propósito do estudo, em ambas as fases, foi pedida a assinatura dos participantes no modelo de consentimento informado presente no Anexo 2.

3.2 População estudada

A amostra consistiu em 15 estudantes universitários da Universidade do Minho, com idades entre os 17 e 32 anos (idade média $24,3 \pm 4,01$ anos); 60% destes participantes pertenciam ao género feminino e 40% ao género masculino.

Os pacientes eram saudáveis, sem histórico de patologia ou cirurgia ocular, ortoqueratologia, utilização de lentes de contacto e medicação tópica ou sistémica que pudesse afetar a visão binocular. Os que apresentavam idade superior a 35 anos não foram incluídos, devido à possível interferência da presbiopia nos resultados obtidos.

Após a primeira fase de medições, que consistem numa avaliação optométrica, os pacientes selecionados apresentaram um valor esférico médio (do OD) de +0,48 D \pm 0,40, um valor cilíndrico médio (do OD) de 0,31 D \pm 0,25 e uma acuidade visual sem correção igual ou superior a 1,00.

Em concordância com diversos estudos anteriores deste tema, foram escolhidos voluntários emétopes, isto é, com um erro refrativo entre -0,50 D e 0,50 D ^{25,91-93}, segundo o parâmetro M, o componente vetorial esférico.

Os valores obtidos nos exames da visão binocular foram analisados e todos estes se enquadravam nos limites padrão segundo Morgan⁹⁴.

Relativamente à acomodação ocular, foram formados 2 grupos: **grupo sem disfunção acomodativa** (composto por sujeitos assintomáticos e sintomáticos) e o **grupo disfunção acomodativa** (constituído por pacientes com insuficiência e inflexibilidade acomodativa) tal como se observa na tabela 5.

Tabela 5: Composição dos grupos selecionados

	Grupo sem disfunção		Grupo disfunção acomodativa	
	Assintomáticos	Sintomáticos	Insuficiência acomodativa	Inflexibilidade acomodativa
Sujeitos	5	4	3	3

3.3 Critérios de diagnóstico selecionado

Foi possível selecionar os critérios das disfunções acomodativas analisadas após síntese dos sinais utilizados por García-Muñoz *et al.*⁵, Porcar and Martinez-

Palomera⁸³, Lara *et al.*⁸⁰, Dwyer⁶⁶, Cacho-Martínez *et al.*⁷ e Hussaindeen⁸⁷. Para tal, foi incluído, no mínimo, um critério da bibliografia mencionada:

- **Insuficiência acomodativa**

Foi diagnosticada esta condição quando o participante apresentava uma AmA menor em 2,00 D do valor esperado para a idade de acordo com a fórmula de Hoffstetter ($15 - 0,25 \times \text{idade (anos)}$) e apresentava uma flexibilidade monocular baixa (< 9 cpm).

- **Excesso acomodativo**

A classificação desta anomalia necessitava reunir as seguintes condições: um valor baixo de flexibilidade acomodativa monocular (< 3 cpm) e um MEM baixo ($\leq 0,25D$).

- **Inflexibilidade acomodativa**

A inflexibilidade acomodativa foi identificada com os seguintes resultados: um valor baixo de flexibilidade acomodativa monocular (< 9 cpm) e um valor dos restantes exames acomodativos normal esperado para a idade.

A sintomatologia foi analisada através do questionário CISS, o qual é formado por 15 questões, em que cada uma contém 5 opções para o participante responder: “nunca” corresponde a 0 pontos, “com pouca frequência” a 1 ponto, “às vezes” a 2 pontos, “com muita frequência” a 3 pontos e por fim, “sempre” a 4 pontos. Quando um paciente obtém um resultado igual ou superior a 21 pontos, é normalmente o indicador de um possível problema associado à insuficiência de convergência.⁷⁸ Tendo em conta que os pacientes deste estudo apresentavam uma boa visão binocular, foram considerados pacientes sintomáticos caso a sua pontuação deste questionário fosse igual ou superior a 16. No caso da pontuação ser inferior a 16, os pacientes foram considerados assintomáticos.

3.4 Procedimento experimental

3.4.1 Consulta optométrica e realização de um questionário - Fase 1

O exame clínico consistiu nos seguintes procedimentos:

- Assinatura do consentimento informado (Anexo 2) por parte dos participantes com o esclarecimento do procedimento, propósito do estudo assim como alguma última dúvida sobre o mesmo.
- Medição da acuidade visual (AV), monocular como binocular, para a visão de longe (VL) e visão de perto (VP) a 40 cm, sem correção refrativa (SC).
- Avaliação do erro refrativo, com recurso à retinoscopia estática e exame subjetivo em VL (realizado com o método da miopização), através da escala de Snellen.
- Avaliação da visão binocular de forma a determinar o valor da foria lateral, segundo o método de *Von Graefe*, para VP a 40 cm e VL. Tal como o valor das reservas fusoriais positivas (ΔBT) e negativas (ΔBN), para VP a 40 cm e VL.
- Análise das propriedades acomodativas oculares onde se estimou a acomodação relativa positiva (ARP) e negativa (ARN), a amplitude de acomodação (com recurso ao método de *Sheard* ou de esferas negativas), retinoscopia de MEM tal como a flexibilidade acomodativa para VL e VP, monocular (a 40 cm) e binocularmente com lentes +2,00 D/ -2,00 D.
- Realização do questionário CISS, a propósito da sintomatologia associada a tarefas visuais quotidianas, uma vez existir uma carência de questionários específicos para as anomalias acomodativas.

3.4.2 Aberrometria com sistema para estimular a acomodação - Fase 2

O sistema em tempo real que permite avaliar as alterações nas aberrações oculares ao longo da estimulação acomodativa, envolve um aberrómetro SH (Thorlabs WF150-7AR) com resolução de 1280 x 1024, 39 x 31 microlentes e uma frequência de 15 Hz. Foi ainda utilizada uma potência de *Wavelength Superluminescent Diode* (SLD) de 12 μW , que corresponde a 1/10 do limite de segurança, tal como, tem um espectro máximo de 830 nm (L8414-04, Hamamatsu). Assim como o raio do tamanho pupilar utilizado na avaliação das aberrações foi de

2,25 mm. O aberrómetro tem acoplado um sistema motorizado de lentes (SLM), controlado por um software exclusivo, que permite controlar a alteração do estímulo acomodativo, pois foi desenvolvido para incluir várias lentes de potências diferentes e, durante a medida, a lente escolhida ficar em frente do olho do paciente. As lentes selecionadas para o SLM foram -1,00 D, -2,00 D, -2,50 D e -5,00D, que geram um estímulo acomodativo 0,98 D; 1,95 D; 2,38 D e 4,86 D, respetivamente. Este método de avaliação acomodativa segue as diretivas presentes no estudo de Franco e Gomes²³.

Para algumas medidas, este sistema demonstrou não ser adequado uma vez ter apresentado resultados incorretos após várias tentativas de medida das aberrações. Assim, nestes casos, o estímulo da acomodação foi realizado com lentes “soltas”. Foi substituído o valor esférico das lentes utilizadas pelos seguintes valores: 0,00 D, -1,00 D, -2,00 D e -4,00 D que correspondem aos seguintes estímulos acomodativos 0,00, 0,98 D; 1,95 D e 3,82 D, respetivamente. Para a avaliação sem estímulo acomodativo (0,00 D), não foi colocada nenhuma lente em frente ao olho. Esta seleção teve em consideração a amplitude de acomodação dos sujeitos. Os primeiros 11 pacientes foram avaliados seguindo este método.

As lentes foram colocadas numa armação de prova e avaliação desta fase consistiu nos seguintes procedimentos:

- Determinação da *baseline* das aberrações do sistema. O valor destas aberrações foi minimizado com o correto alinhamento do sistema.
- Realização de uma avaliação em iluminação escotópica, com a pupila natural do participante e com o alerta de pestanejar várias vezes de modo a não comprometer o estado do filme lacrimal.
- Disposição do sujeito numa mentoneira e, na armação de prova utilizada pelo mesmo, foi colocada a lente a avaliar no OD (olho direito), com a exceção da lente 0,00 D, onde não foi colocada nenhuma lente em frente ao olho.
- Cada sujeito tentou manter nítido uma cruz branca sobreposta a um ponto vermelho proveniente do laser do sensor de frente de onda, de forma a controlar a sua acomodação.
- A avaliação é iniciada quando o paciente fecha os olhos, de seguida abre-os durante aproximadamente 5 s, um examinador retira a lente do OE (olho esquerdo) e é finalizada cerca de 5 s após este passo.

- Este procedimento foi repetido para todos os valores de lentes mencionados previamente.

As medidas com o sistema de SLM foram realizadas da mesma forma:

- Determinação singular de uma *baseline* com as aberrações inerentes ao aparelho utilizado. O valor destas aberrações foi minimizado devido ao posicionamento de um espelho no lugar do olho e o alinhamento do sistema.
- Realização de uma avaliação em iluminação escotópica, com a pupila natural do participante e com o alerta de pestanejar várias vezes de modo a não comprometer o estado do filme lacrimal.
- Disposição do sujeito numa mentoneira e início da seleção das lentes incluídas no SLM.
- Cada sujeito tentou manter nítido uma cruz branca sobreposta a um ponto vermelho proveniente do laser do sensor de frente de onda, de forma a controlar a sua acomodação.
- Após iniciada a avaliação, o examinador mudava a posição da lente do SLM, sensivelmente de 5s em 5s, até terminar com a lente de -5,00 D. Durante todo este procedimento, os valores das aberrações oculares estavam a ser registados em tempo real.

3.5 Análise dos dados

Para cada sujeito foram registados os coeficientes de Zernike até à 6ª ordem que depois foram utilizados para calcular os parâmetros acomodativos estudados.^{19,95} A estes coeficientes foi subtraída a *baseline* calculada previamente. De seguida, foram calculados os parâmetros apresentados:

- **Equivalente esférico, M**

O equivalente esférico, M, foi obtido através da aberração *defocus* e o raio pupilar, r, descrita pela equação 3:

$$M = \frac{-4\sqrt{3} z_2^0}{r^2} \text{ Equação 3}$$

na qual:

z_2^0 : aberração *defocus* do sujeito;

r: raio pupilar.

- **Resposta acomodativa, RA**

Calculou-se a resposta acomodativa, RA, com o valor do equivalente esférico, M, com a equação 4:⁹⁵

$$RA = M_s - \frac{M + L}{(1 - 0,020)(M + L)} \text{ Equação 4}$$

na qual:

M_s : valor do equivalente esférico inicial (sem lente);

L : valor esférico da lente utilizada como estímulo;

d: distância da lente ao olho, neste caso, corresponde a 0,020 m;

M : valor do equivalente esférico calculado previamente com a equação 1.

- **Estímulo acomodativo, EA**

Este parâmetro é calculado tendo em conta a equação 5⁹⁵:

$$EA = M_s - \frac{1 + (-6 + 0,020)L}{-6 - 0,020(-6 + 0,020)xL} \text{ Equação 5}$$

na qual:

M_s : valor do equivalente esférico inicial (sem lente);

L : valor esférico da lente utilizada como estímulo;

d: distância do olho ao otótipo;

O valor 0,020 m corresponde à distância da lente ao olho.

- **Atraso acomodativo objetivo, Ac**

O atraso acomodativo, Ac, foi estimado com a equação 6, pela subtração do valor RA com o valor do EA:

$$Ac = EA - RA \text{ Equação 6}$$

- **RMS**

Foi calculado o RMS para várias aberrações, através na equação 7:

$$RMS = \sqrt{(z_m^n)^2 + (z_{m_1}^{n-1})^2 + (z_{m_1}^{n_1})^2 \dots + (z_{m_x}^{n_x})^2} \text{ Equação 7}$$

na qual:

RMS HOA: de z_3^{-3} a z_6^6 ;

RMS LOA: z_2^{-2} , z_2^0 e z_2^2 ;

RMS da aberração esférica: z_4^0 e z_6^0 ;

RMS da aberração coma: z_3^{-1} , z_3^1 , z_5^{-1} e z_5^1 .

Capítulo 4 – Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante o estudo.

No estudo participaram 15 sujeitos, dos quais 60% correspondiam ao sexo feminino e 40% ao masculino. A idade média era de $24,3 \pm 4,0$ anos.

Em concordância com os critérios referidos em trabalhos publicados e o diagnóstico com base na consulta optométrica da fase 1, nove sujeitos foram classificados normais nos parâmetros acomodativos e binoculares, como tal foram incluídos no grupo sem disfunção acomodativa. Neste grupo, os sujeitos foram ainda classificados como assintomáticos e sintomáticos, pois estes sujeitos manifestam sintomatologia no inquérito CISS.

No grupo de sujeitos com disfunção acomodativa foram incluídos seis sujeitos. Três sujeitos apresentam insuficiência acomodativa e três apresentam inflexibilidade acomodativa.

4.1 Grupo I – Sem disfunção acomodativa

O grupo sem disfunção acomodativa apresenta um erro refrativo correspondente a um valor esférico médio de $+ 0,31 \text{ D} \pm 0,41 \text{ D}$ e o valor cilíndrico médio de $-0,28 \text{ D} \pm 0,23 \text{ D}$. Os resultados do exame visual realizado na fase 1 podem ser observados na tabela 6. No subgrupo dos assintomáticos, o valor esférico médio do erro refrativo é de $+ 0,35 \text{ D} \pm 0,45 \text{ D}$, o valor cilíndrico médio de $-0,30 \text{ D} \pm 0,21 \text{ D}$, em todos os sujeitos é verificada uma amplitude normal para a sua idade, segundo a fórmula de Hofstetter e o valor do MEM é normal. O valor da flexibilidade acomodativa não se encontra dentro do valor esperado em todos os sujeitos e alguns apresentam valores ligeiramente inferiores ao esperado e os resultados do CISS apresenta valores abaixo daquele que indica a presença de sintomatologia. Enquanto que, no subgrupo dos sintomáticos, verifica-se um erro refrativo com o valor esférico médio de $+ 0,25 \text{ D} \pm 0,41 \text{ D}$ e o valor cilíndrico médio de $- 0,25 \text{ D} \pm 0,29 \text{ D}$. A amplitude de acomodação encontra-se normal para a idade em todos os sujeitos, segundo a fórmula de Hofstetter, com o seu valor médio de $9,44 \text{ D} \pm 1,68 \text{ D}$.

O valor médio do MEM e da flexibilidade acomodativa para VP também se encontram normais; os seus valores médios são $+0,56 \text{ D} \pm 0,20 \text{ D}$ e $13,3 \text{ cpm} \pm 3,4 \text{ cpm}$, respetivamente. A pontuação obtida no inquérito CISS, com o resto dos parâmetros normais determinaram a colocação destes pacientes no subgrupo dos sintomáticos.

A avaliação binocular, nomeadamente as forias laterais e o valor das reservas fusionais positivas e negativas, para VP e VL, encontram-se de acordo com os parâmetros de Morgan ⁹⁴.

Tabela 6: Resultados da consulta optométrica do grupo sem disfunção acomodativa realizado na fase 1 do estudo.

Sujeito		Exame subjetivo VL OD			Amplitude acomodativa OD (D)	MEM (D)	FA VL (cpm)	Idade (anos)	CISS
		Esfera (D)	Cilindro (D)	Eixo (°)					
Assintomáticos	1	+0,50	-0,25	105	9,00	+0,50	13	28	14
	2	+0,75	-0,50	170	10,00	+0,75	20	22	10
	3	-0,25	-0,25	155	10,50	+0,75	13	23	4
	4	+0,75	0,00	0	8,25	+0,50	9	21	1
	5	0,00	-0,50	180	10,00	+0,50	18	22	13
	Média± Desvio Padrão	+ 0,35 ± 0,45	- 0,30± 0,21	-	9,55± 0,91	+0,60± 0,14	14,6 ± 4,4	23,5± 3,10	-
Sintomáticos	6	+0,25	0,00	0	9,75	+0,25	9	22	20
	7	+0,75	-0,50	5	7,00	+0,75	16	30	17
	8	+0,25	0,00	0	10,75	+0,75	16	25	18
	9	-0,25	-0,50	145	10,25	+0,50	12	24	21
	Média ± Desvio Padrão	+0,25± 0,41	-0,25± 0,29	-	9,44± 1,68	+0,56± 0,24	13,3± 3,4	25,4± 3,4	-
Média total ± Desvio padrão		+0,31±0,4	-0,28±0,23	-	9,50±1,2	+0,58±0,18	14,0 ± 3,8	24,4± 3,2	-

4.2 Grupo II – Com disfunção acomodativa

Os resultados da consulta da fase 1 do grupo II, sujeitos com disfunção acomodativa, podem ser observados na tabela 7. Apresentam um erro refrativo com valor esférico médio de $+0,38 \text{ D} \pm 0,41 \text{ D}$ e o valor cilíndrico médio de $-0,25 \text{ D} \pm 0,31 \text{ D}$. Foram classificados 3 sujeitos com insuficiência acomodativa que apresentavam uma diminuição da amplitude acomodativa de pelo menos $2,00 \text{ D}$ em relação ao valor mínimo para a sua idade calculado através da fórmula de Hofstetter; dois destes sujeitos apresentavam um MEM alto ($\geq + 0,75 \text{ D}$). O valor esférico médio do seu erro refrativo é de $+0,08 \text{ D} \pm 0,38 \text{ D}$, o valor cilíndrico médio é de $-0,08 \text{ D} \pm 0,14 \text{ D}$ e a flexibilidade acomodativa encontra-se abaixo do valor esperado com exceção de um dos sujeitos que, embora tenha amplitude de acomodação abaixo da esperada para a idade, esta ($8,00 \text{ D}$) ainda lhe permite ter uma FA dentro do valor normal.

A segunda disfunção acomodativa diagnosticada foi a inflexibilidade acomodativa para 3 sujeitos, pois apresentam 0 cpm na sua flexibilidade em VP, uma amplitude de acomodação esperada para a idade. Em termos de erro refrativo, o valor esférico médio é de $+0,67 \text{ D} \pm 0,14 \text{ D}$ e o valor cilíndrico médio é de $-0,41 \text{ D} \pm 0,38 \text{ D}$.

Tabela 7: Resultados da consulta optométrica do grupo disfunção acomodativa realizada na fase 1 do estudo

Sujeito		Exame subjetivo VL OD			Amplitude acomodativa OD (D)	MEM (D)	FA VL (cpm)	Idade (anos)	CISS
		Esfera (D)	Cilindro (D)	Eixo (°)					
Insuficiência acomodativa	10	-0,25	-0,25	90	5,50	+0,50	6	22	13
	11	0,00	0,00	0	5,50	+0,75	8	21	21
	12	+0,50	0,00	0	8,00	+0,75	14	17	6
	Média± Desvio Padrão	+0,08± 0,38	-0,08± 0,14	-	6,33± 1,44	+0,63± 0,18	9,33± 4,16	20± 2,65	-
Inflexibilidade acomodativa	13	+0,75	-0,75	100	5,50	+1,00	0	32	6
	14	+0,50	0,00	0	6,00	+0,50	0	29	3
	15	+0,75	-0,50	180	9,00	+0,50	0	26	23
	Média± Desvio Padrão	+0,67±0 ,14	-0,41± 0,38	-	6,83± 1,89	+0,75± 0,35	0±0	29±3	-
Média total ± Desvio padrão total		+0,38±0 ,41	-0,25± 0,31	-	6,58± 1,53	+0,69± 0,24	4,7 ± 5, 8	24,5±5, 5	-

4.3 RMS

Na tabela 8 podem-se encontrar os valores do RMS calculados do grupo que não manifestou disfunção acomodativa. O RMS de alta ordem (RMS HOA), no subgrupo de sujeitos assintomáticos apresenta valores médios que aumentam apenas ligeiramente à medida que o estímulo acomodativo aumenta, enquanto que os sujeitos sintomáticos apresentam uma tendência para um aumento do RMS HOA com a acomodação.

No parâmetro RMS das aberrações de baixa ordem (RMS LOA), os sujeitos do subgrupo sintomático, demonstram, em média, valores superiores aos sujeitos do subgrupo assintomático principalmente para os estímulos acomodativos mais baixos.

Em todos os grupos é possível observar que a aberração esférica manifesta valores médios baixos. Estes valores dos pacientes do subgrupo sintomático são, em média, maiores do que os valores dos sujeitos do subgrupo assintomático nos estímulos de 0,99 D e 3,82 D. A tendência dos valores médios dos pacientes do subgrupo assintomático é de diminuir com a acomodação excetuando no estímulo acomodativo 3,82 D.

Tabela 8: Valores médios da RMS HOA, LOA, aberração esférica e coma para o grupo normal obtidos na segunda fase do estudo.

RMS (μm)	Estímulo acomodativo (D)	Grupo sem disfunção acomodativa	
		Assintomáticos	Sintomático
HOA	0,00	0,1803	0,2187
	0,99	0,2424	0,2710
	1,95	0,1447	0,3314
	3,82	0,2337	0,3632
LOA	0,00	0,4653	0,8283
	0,99	0,4110	0,8061
	1,95	0,4192	0,5517
	3,82	0,5932	0,6083
Esférico	0,00	0,0434	0,0318
	0,99	0,0246	0,0400
	1,95	0,0077	0,0064
	3,82	0,0117	0,0307
Coma	0,00	0,1345	0,1878
	0,99	0,2092	0,2499
	1,95	0,1083	0,2946
	3,82	0,2087	0,2785

De forma a analisar com mais detalhe as alterações nas aberrações esférica e esférica secundária, a sua variação, em função do estímulo acomodativo, foi avaliada e encontra-se representada nos gráficos das figuras 5 e 6. A aberração esférica apresenta uma tendência para uma diminuição com o aumento do estímulo acomodativo nos sujeitos que não referiram sintomatologia. No entanto, esta tendência não parece verificar-se nos sujeitos sintomáticos. Na aberração esférica secundária observa-se o contrário, os sujeitos que manifestaram sintomatologia demonstram uma tendência para uma diminuição à medida que aumenta o estímulo acomodativo.

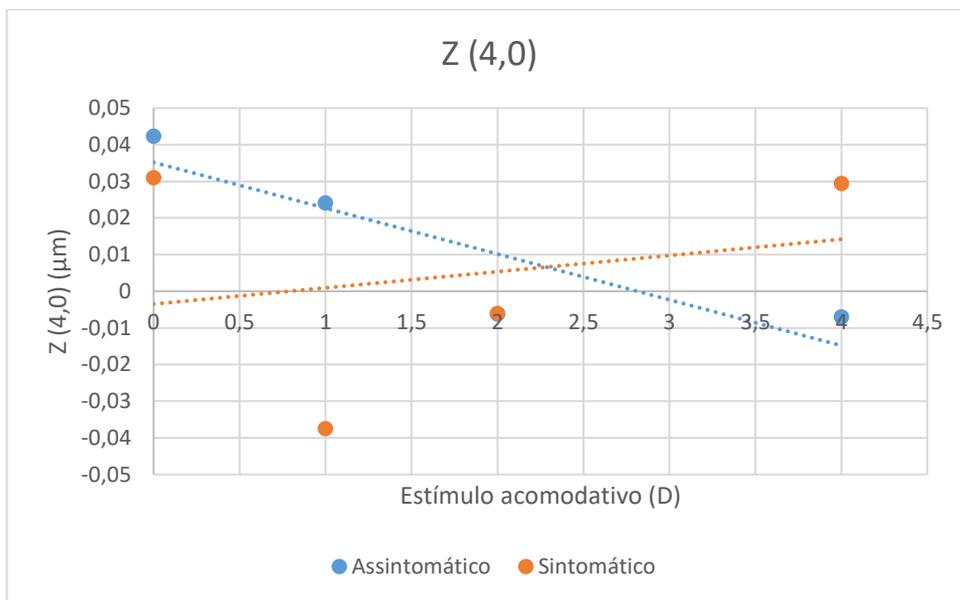


Figura 5: Variação da aberração esférica dos sujeitos sintomáticos e assintomáticos.

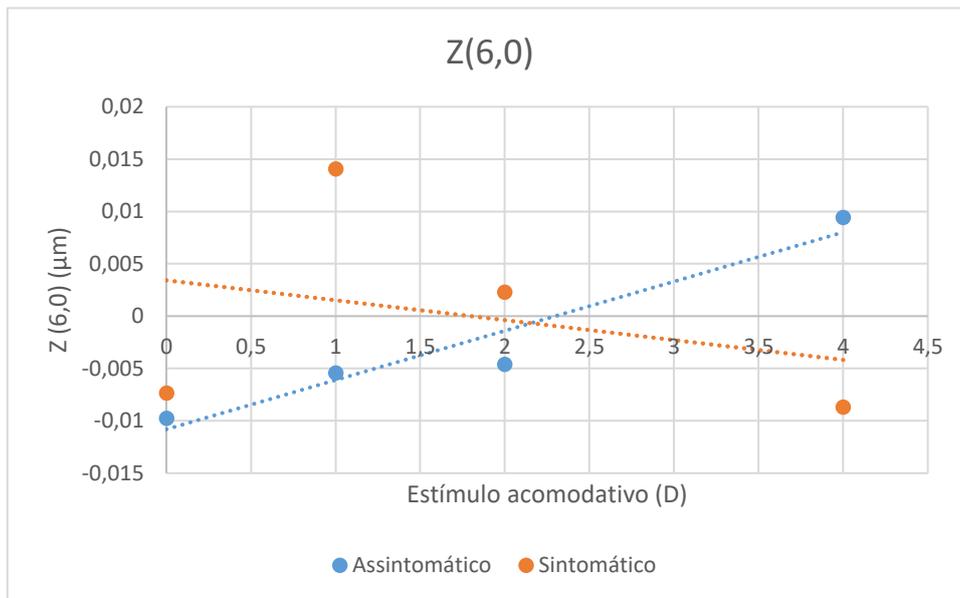


Figura 6: Variação da aberração esférica secundária dos sujeitos sintomáticos e assintomáticos.

No RMS coma, o subgrupo constituído pelos sujeitos sintomáticos apresenta valores superiores aos valores encontrados nos sujeitos assintomáticos (figura 7).

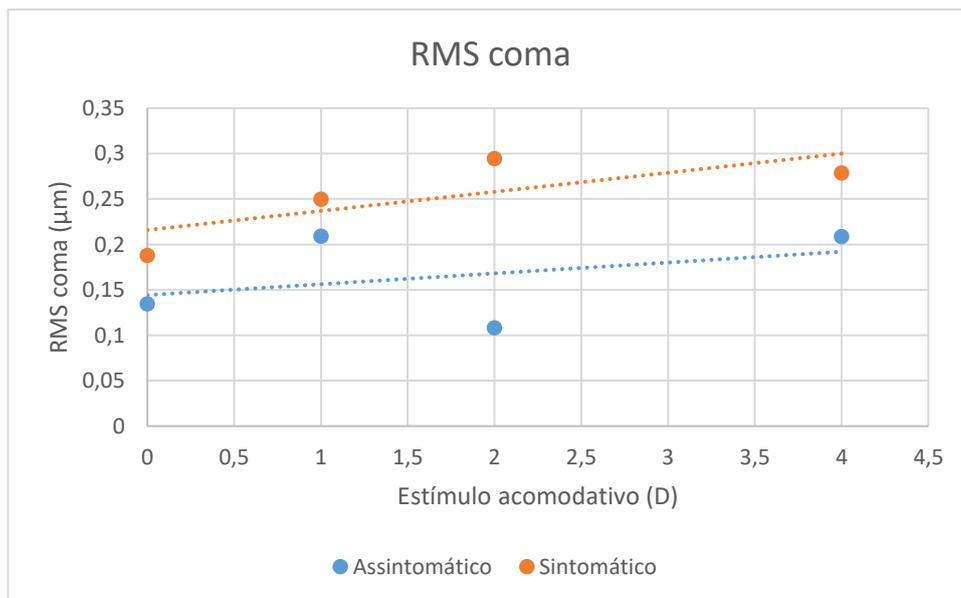


Figura 7: Variação dos valores médios do RMS da aberração coma para os sujeitos assintomáticos e sintomáticos.

Os valores médios da RMS calculados para o grupo composto por sujeitos com disfunção acomodativa podem ser observados na tabela 9.

No parâmetro do RMS HOA, observa-se que o subgrupo dos sujeitos diagnosticados com inflexibilidade acomodativa tem valores médios superiores e com maior variação do que aqueles apresentados pelos pacientes que foram classificados com insuficiência acomodativa.

Tabela 9: Valores médios da RMS HOA, LOA, aberração esférica e coma para o grupo disfunção acomodativa obtidos na segunda fase do estudo.

RMS (μm)	Estímulo acomodativo (D)	Grupo com disfunção acomodativa	
		Insuficiência	Inflexibilidade
HOA	0,00	0,21612	0,2514
	0,99	0,24942	0,3523
	1,95	0,19950	0,1343
	3,82	0,23625	0,3933
LOA	0,00	0,7900	1,0860
	0,99	1,2424	0,8460
	1,95	1,2437	0,5253
	3,82	0,9378	0,5027
Esférico	0,00	0,0126	0,1124
	0,99	0,0812	0,0311
	1,95	0,0324	0,0022
	3,82	0,1140	0,0516
Coma	0,00	0,2023	0,0810
	0,99	0,1029	0,1122
	1,95	0,1651	0,0951
	3,82	0,1793	0,3282

Para o RMS LOA, o subgrupo identificado com a disfunção de insuficiência acomodativa apresenta valores médios superiores ao subgrupo constituído por sujeitos com inflexibilidade acomodativa. Além disso, pode-se verificar que para os sujeitos com insuficiência acomodativa os valores mostram uma tendência para se manterem constantes à medida que o estímulo acomodativo vai aumentando. Para aqueles que apresentam inflexibilidade acomodativa, o valor do RMS LOA apresenta uma tendência para diminuir à medida que o estímulo acomodativo aumenta (figura 8).

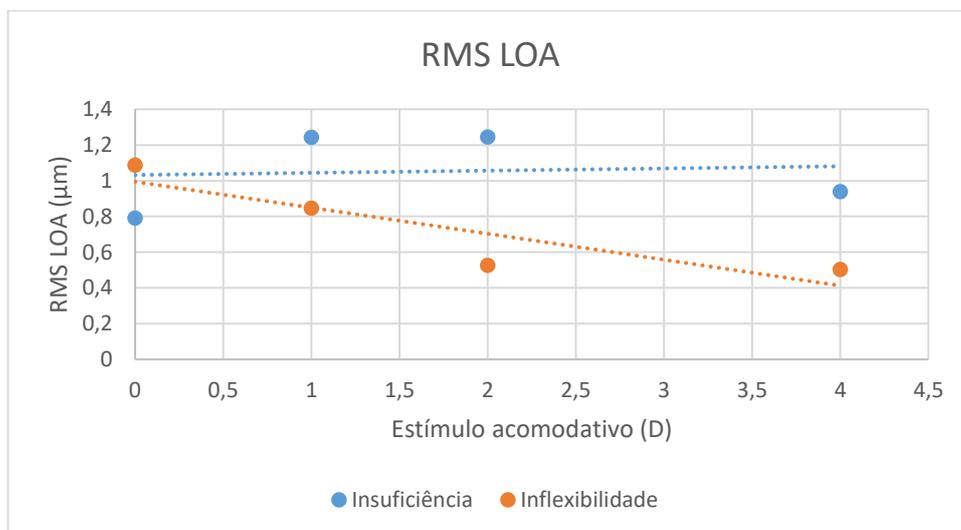


Figura 8: Variação dos valores médios do RMS LOA ao longo da estimulação acomodativa para os sujeitos diagnosticados com insuficiência e inflexibilidade acomodativa.

O RMS esférico apresenta valores médios baixos. No subgrupo composto por sujeitos com inflexibilidade acomodativa verifica-se que os valores médios diminuem com o aumento do estímulo acomodativo, em contrapartida, o subgrupo constituído por pacientes com insuficiência acomodativa demonstra uma tendência para aumentar à medida que o estímulo aumenta. (Figura 9).

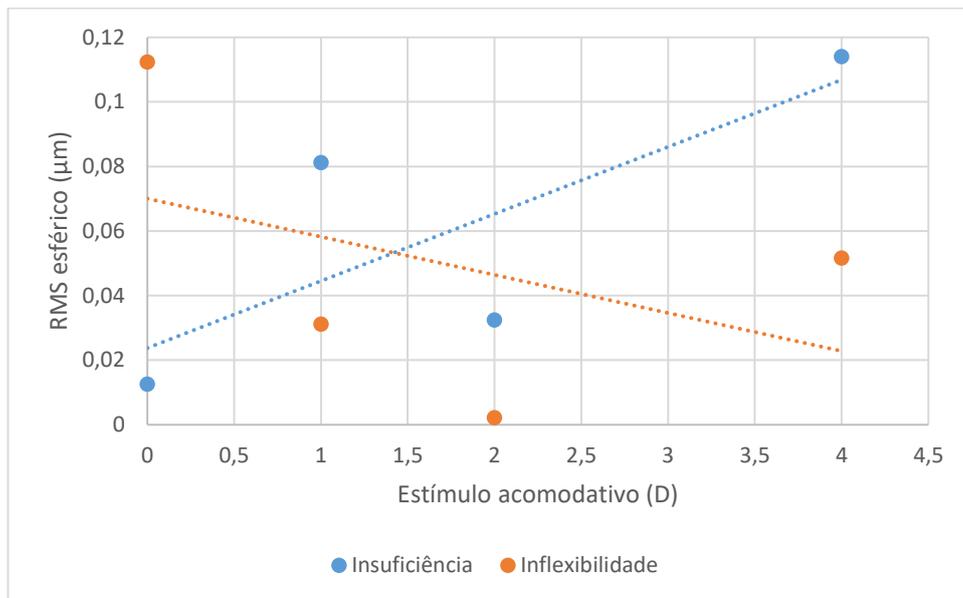


Figura 9: Variação dos valores médios do RMS esférico ao longo da estimulação acomodativa para os sujeitos diagnosticados com insuficiência e inflexibilidade acomodativa.

Nas figuras 10 e 11, pode-se ver o comportamento das aberrações esférica e esférica secundária com a acomodação para ambos os subgrupos. Mais uma vez, parece haver um comportamento diferente entre os sujeitos com insuficiência acomodativa e aqueles que apresentam inflexibilidade acomodativa. Os sujeitos com inflexibilidade acomodativa demonstram claramente um aumento destas aberrações com a acomodação enquanto que aqueles com insuficiência acomodativa, não apresentam este comportamento.

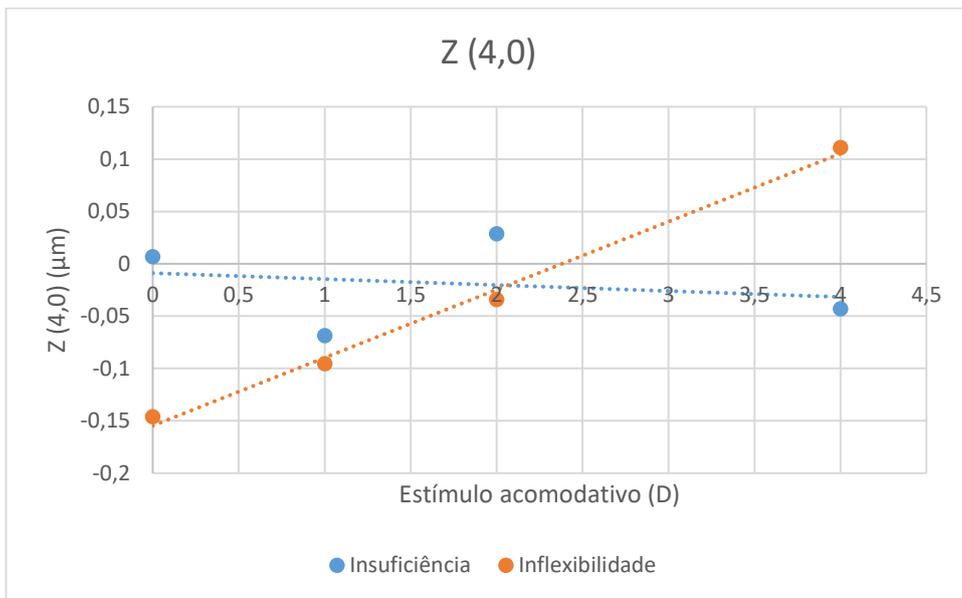


Figura 10: Variação dos valores médios do RMS da aberração esférica dos pacientes identificados com insuficiência acomodativa e inflexibilidade acomodativa.

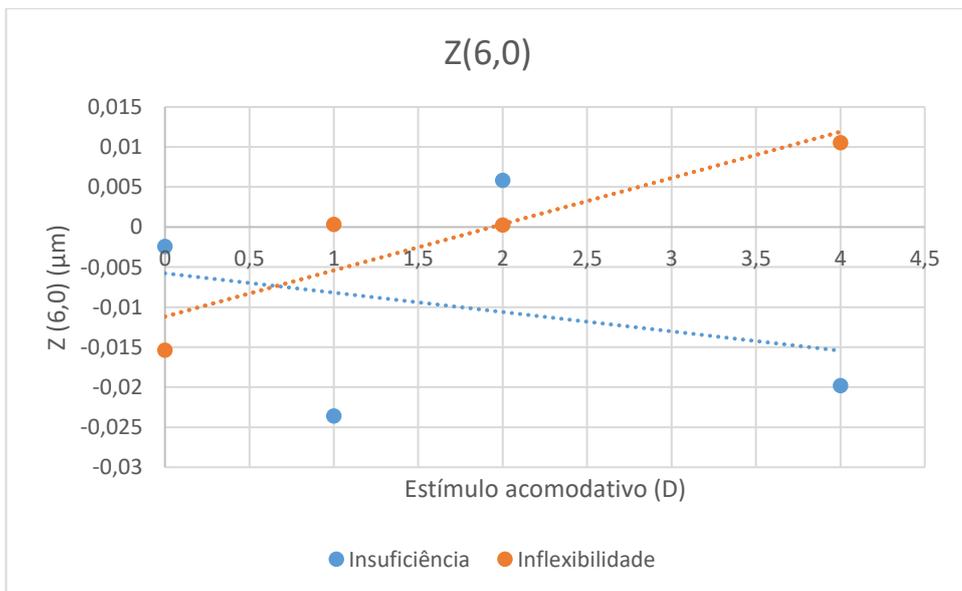


Figura 11: Variação dos valores médios do RMS da aberração esférica secundária dos pacientes identificados com insuficiência acomodativa e inflexibilidade acomodativa.

A tabela 10 apresenta os valores de RMS calculados para os sujeitos sem disfunção acomodativa e os que apresentaram disfunção acomodativa.

No RMS de alta ordem, é possível observar que os valores dos dois grupos são bastante similares entre si. No RMS da aberração coma verifica-se uma tendência para valores superiores no grupo que não manifesta sintomatologia em relação ao grupo com disfunção acomodativa à medida que o estímulo aumenta. No parâmetro RMS de baixa ordem, os pacientes com disfunção acomodativa, parecem demonstrar valores médios superiores aos que não apresentaram disfunção acomodativa.

Tabela 10: Valores médios de RMS dos pacientes que não apresentaram disfunção acomodativa e dos que manifestaram disfunção acomodativo.

RMS (μm)	Estímulo acomodativo (D)	Grupo sem disfunção acomodativa	Grupo com disfunção acomodativa
HOA	0,00	0,1974	0,2338
	0,99	0,2551	0,3008
	1,95	0,2277	0,1669
	3,82	0,2912	0,3148
LOA	0,00	0,6266	0,9380
	0,99	0,5866	1,0442
	1,95	0,4781	0,8845
	3,82	0,5999	0,7202
Esférico	0,00	0,0382	0,0625
	0,99	0,0314	0,0562
	1,95	0,0071	0,0173
	3,82	0,0201	0,0828
Coma	0,00	0,1582	0,0762
	0,99	0,2273	0,1041
	1,95	0,1911	0,1014
	3,82	0,2397	0,2399

Novamente, encontram-se diferenças mais significativas no RMS esférico. No grupo constituído pelos sujeitos que não apresentavam disfunção acomodativa observa-se que os valores médios tendem a diminuir com o aumento do estímulo acomodativo, pelo contrário, o grupo que manifestou disfunção acomodativa demonstra uma tendência para aumentar à medida que o estímulo aumenta. Tal como se verifica valores médios superiores no grupo com disfunção acomodativa do que no grupo sem disfunção acomodativa (figura 12).

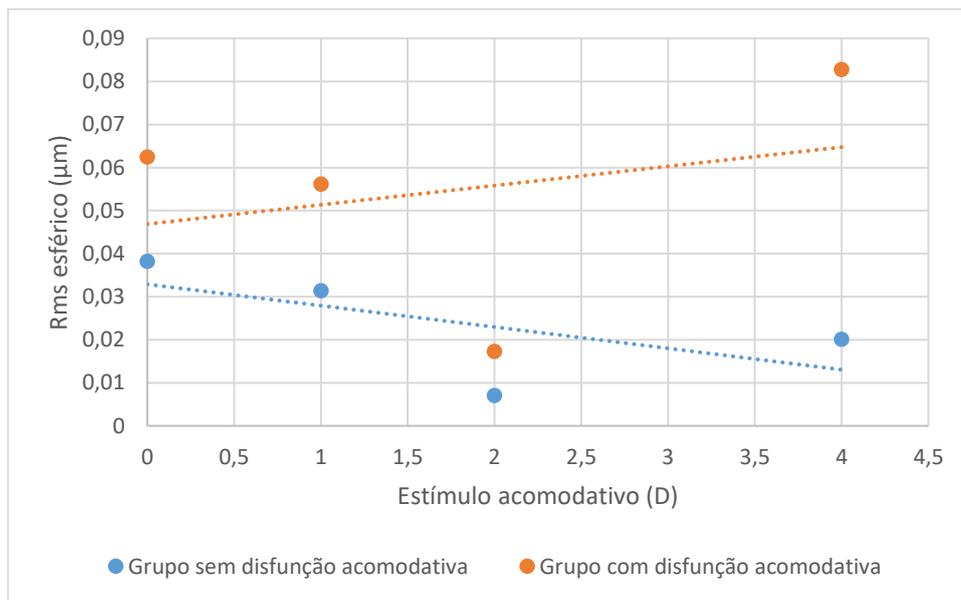


Figura 12: Variação dos valores médios do RMS esférico ao longo da estimulação acomodativa para os sujeitos sem disfunção acomodativa e os diagnosticados com disfunção acomodativa.

4.4 Resposta acomodativa

4.4.1 Comparação entre o subgrupo sintomático e assintomático

A resposta acomodativa dos sujeitos que manifestaram sintomatologia e dos pacientes assintomáticos ao longo do tempo e para os diferentes valores de estímulos pode ser observada no gráfico da figura 13.

Inicialmente, os pacientes dos dois subgrupos apresentam algumas diferenças entre si, no entanto, com o aumento da estimulação acomodativa é possível observar

que os valores médios da resposta acomodativa dos pacientes que demonstraram sintomatologia aparentam ser superiores aos que não apresentaram sintomas.

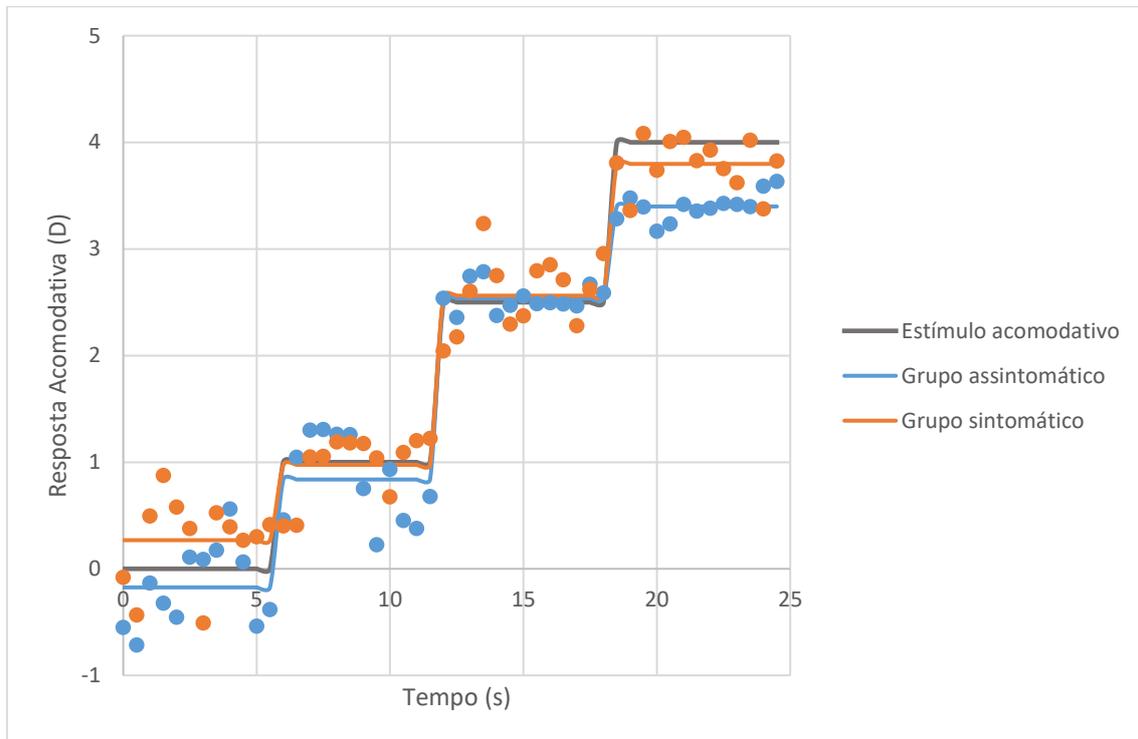


Figura 13: Variação da resposta acomodativa média em função do tempo entre o subgrupo constituído por sujeitos sintomáticos e assintomáticos.

4.4.2 Comparação entre o subgrupo insuficiência acomodativa e inflexibilidade acomodativa

Na figura 14 é possível observar o gráfico da resposta acomodativa dos pacientes que foram incluídos no subgrupo de insuficiência acomodativa e no de inflexibilidade acomodativa ao longo do tempo e os valores de estímulo utilizados.

Os valores dos sujeitos com insuficiência acomodativa parecem apresentar respostas acomodativas inferiores aos expostos pelos pacientes que foram diagnosticados com inflexibilidade acomodativa durante o aumento da estimulação acomodativa.

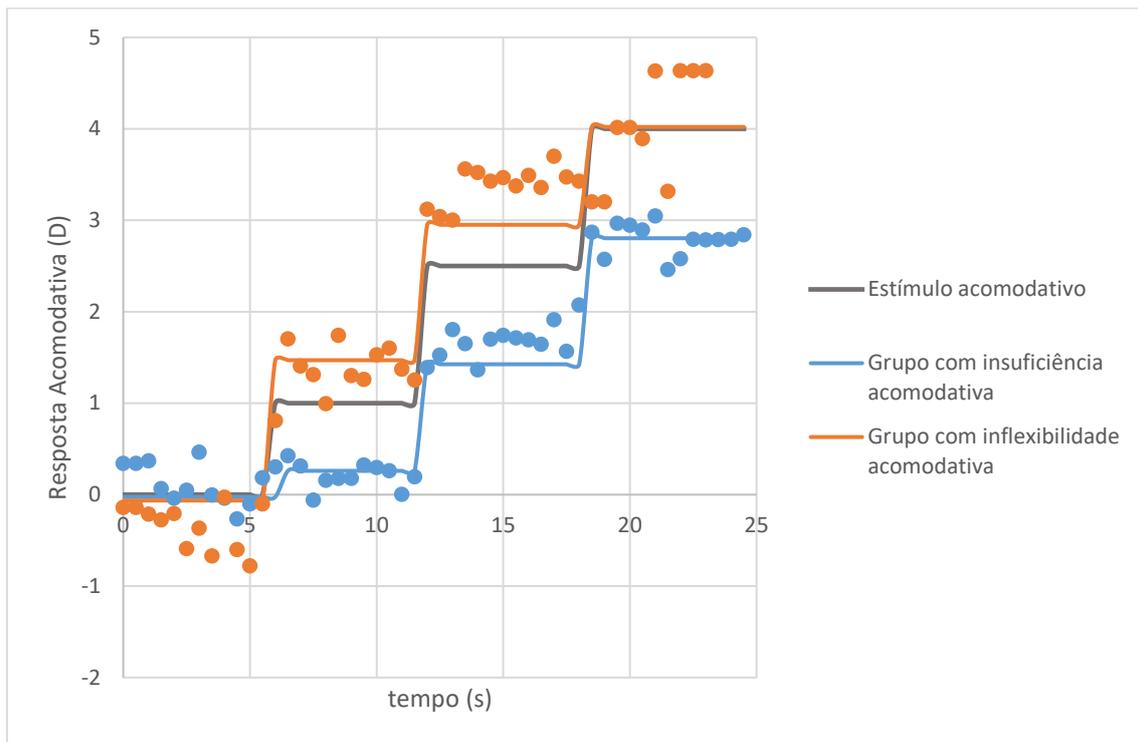


Figura 14: Variação da resposta acomodativa em tempo entre o subgrupo de sujeitos com insuficiência acomodativa e com inflexibilidade acomodativa.

4.4.3 Comparação entre os grupos sem disfunção acomodativa e com disfunção acomodativa

No gráfico da figura 15 observa-se a resposta acomodativa dos sujeitos que não apresentaram disfunção acomodativa e dos que foram diagnosticados com disfunção acomodativa ao longo do tempo e para os diferentes estímulos estudados.

Nos primeiros estímulos acomodativos, não se observam grandes diferenças entre os comportamentos apresentados pelos sujeitos dos dois grupos. Contudo, à medida que o estímulo vai aumentando, verifica-se que os valores dos sujeitos com disfunção acomodativa tendem a apresentar respostas acomodativas inferiores aos apresentados pelos sujeitos que não apresentam qualquer disfunção acomodativa.

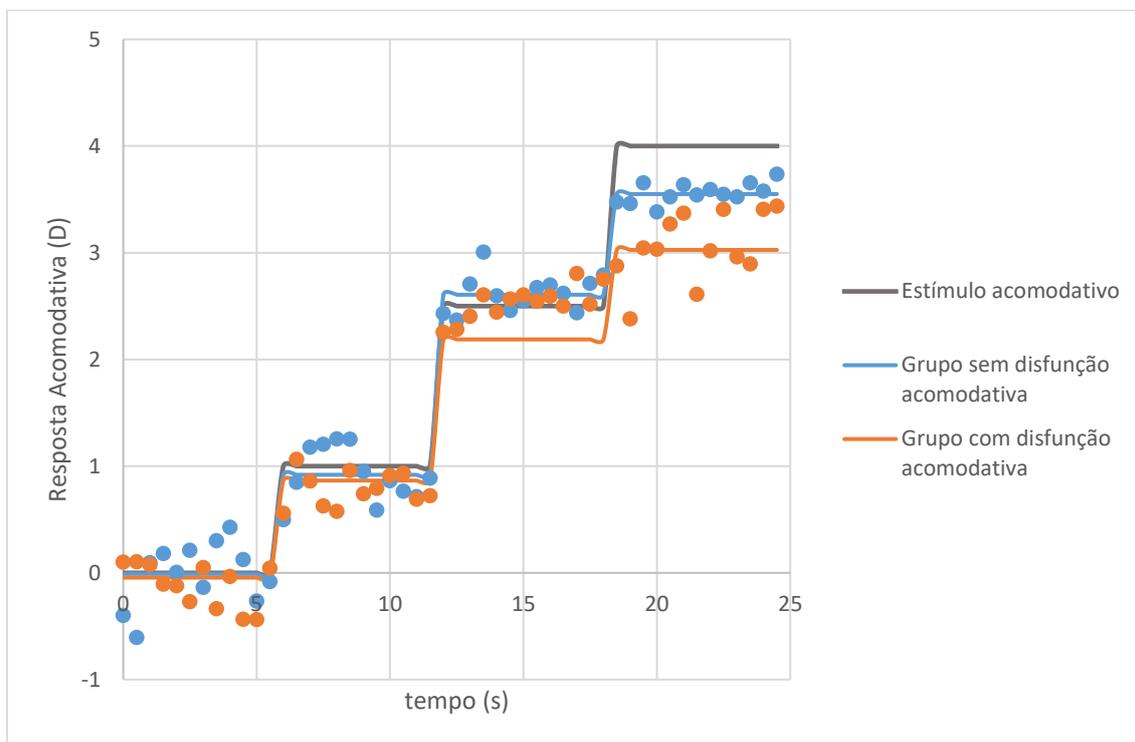


Figura 15: Variação da resposta acomodativa média ao longo do tempo entre o grupo composto por sujeitos sem disfunção acomodativa e pacientes com disfunção acomodativa.

4.5 Atraso acomodativo

Como é possível observar na tabela 11, os sujeitos que manifestaram sintomatologia e os classificados como assintomáticos demonstram, inicialmente, valores médios do atraso acomodativo positivos, no segundo estímulo, valores médios negativos e, por fim, valores positivos. Verifica-se ainda que para os sujeitos que apresentaram sintomas, os valores médios são inferiores aos que não apresentaram sintomatologia.

Os pacientes que demonstraram insuficiência acomodativa apresentam valores positivos em todos os estímulos e estes expressam uma tendência para um aumento à medida que o estímulo progride. Enquanto que os valores médios dos sujeitos com inflexibilidade acomodativa manifestam valores médios negativos nos dois primeiros estímulos e sugerem mostrar uma diminuição destes com a progressão dos estímulos acomodativos com a exceção do último valor. Os valores

médios dos sujeitos com insuficiência acomodativa são superiores aos dos sujeitos com inflexibilidade acomodativa.

No grupo composto por sujeitos com disfunção acomodativa, observam-se valores superiores aos dos sujeitos que não apresentaram disfunção acomodativa.

Tabela 11: Variação dos valores médios do atraso acomodativo dos grupos normal e com disfunção acomodativa.

Parâmetro (D)	Estímulo acomodativo (D)	Grupo sem disfunção acomodativa		
		Assintomático	Sintomático	Média
Atraso acomodativo	0,99	0,14579	0,0138	0,0877
	1,95	-0,1131	-0,1348	-0,1205
	3,82	0,4187	0,0193	0,2812
Atraso acomodativo	Estímulo acomodativo (D)	Grupo com disfunção acomodativa		
		Insuficiência acomodativa	Inflexibilidade acomodativa	Média
Atraso acomodativo	0,99	0,7715	-0,3706	0,2004
	1,95	0,7829	-0,9531	-0,0850
	3,82	1,0232	0,3301	0,7922

4.6 Sintomatologia

Em relação aos resultados obtidos com o questionário CISS, no subgrupo com sintomatologia, verificou-se que os sintomas mais relatados pelos participantes foram: sensação os olhos cansados quando leem ou executam tarefas em VP (P1), sensação de sonolência quando leem ou executam tarefas em VP (P4) e a sensação de “tensão” à volta dos olhos quando leem ou executam tarefas em VP (P12). Os

sintomas menos mencionados são: diplopia quando leem ou executam tarefas em VP (P7) e ver as palavras a moverem-se, saltarem ou a parecer que flutuam na página quando leem ou executam tarefas em VP tal com se pode observar na figura 16.

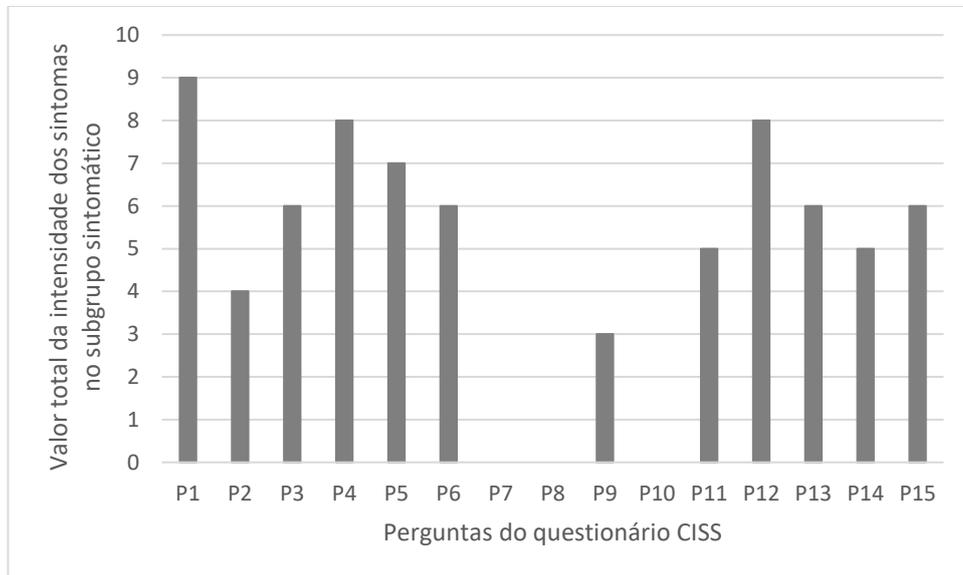


Figura 16: Intensidade dos sintomas mencionados nas perguntas do CISS. (P: pergunta)

Capítulo 5 – Discussão dos resultados

Este capítulo desenvolve os resultados apresentados no capítulo anterior tal como traça comparações aos estudos previamente realizados.

A fase 1 deste estudo consistiu na avaliação optométrica dos sujeitos e a sua divisão em 2 grupos, posteriormente, cada grupo subdividiu-se, de forma a averiguar as diferenças existentes entre eles. O grupo que não apresentou disfunção acomodativa engloba pacientes com parâmetros acomodativos normais, destes os que apresentaram um resultado baixo do questionário CISS eram selecionados para incluir o subgrupo assintomático e, os que manifestaram sintomatologia elevada eram colocados no subgrupo dos sintomáticos. Os sujeitos incluídos no grupo de disfunção acomodativa claramente têm uma anomalia acomodativa e, neste estudo, foram encontrados sujeitos com insuficiência acomodativa e com inflexibilidade acomodativa.

Os parâmetros acomodativos, quando avaliados por métodos subjetivos, são altamente influenciados pela concentração, diâmetro pupilar, aberrações oculares e oscilações acomodativas do sujeito, também apresentam valores superiores aos reais, tal como ainda existe uma ausência de uniformização da realização deste método.⁹⁻¹³ Embora não exista um critério definido de forma a diagnosticar as anomalias acomodativas^{7,86}, foi utilizado como critério de diagnóstico de insuficiência acomodativa a amplitude de acomodação monocular menor em 2,00 D do valor obtido com a fórmula de Hofstetter esperada para a idade e um valor de flexibilidade acomodativa reduzido. Para diagnosticar a inflexibilidade acomodativa foi considerado um valor baixo de flexibilidade acomodativa monocular e um valor de AmA normal (esperado para a idade) tal como os restantes exames acomodativos.

A utilização de métodos objetivos para analisar a acomodação é preferível devido ao seu alto grau de objetividade e, por isso, são bastante utilizados na prática clínica e na literatura científica, através de autorefrátometros e aberrómetros. Na fase 2 do estudo apresentado, foi utilizado um método de avaliação das variações das aberrações oculares para diferentes estímulos acomodativos com recurso a

lentes de potência negativa e um sensor de frente de onda SH integrado, tal como se pode observar em Franco e Gomes.²³ A partir dos coeficientes de Zernike, foram deduzidos os parâmetros de qualidade ótica e da acomodação apresentados previamente e, estes foram confirmados várias vezes.

Neste método objetivo, vários autores relatam que as aberrações oculares aumentam em função do estímulo acomodativo apresentado ao olho,^{16,18,22,90,91} assim como as aberrações de alta ordem que mais influenciam a acomodação são a aberração esférica e a aberração esférica secundária. Ambas se inclinam no sentido negativo à medida que a acomodação aumenta.^{18,91} De salientar que a média do valor desta aberração, em estado relaxado, é positiva.^{16,89} Na aberração esférica os resultados dos sujeitos assintomáticos vão de encontro aos resultados dos trabalhos mencionados, contudo esta tendência não se observa nos sujeitos que apresentaram sintomas. No RMS esférico, os valores médios do subgrupo que apresenta inflexibilidade diminuem com o aumento do estímulo acomodativo, ao contrário, do subgrupo com insuficiência acomodativa que demonstra uma tendência para aumentar à medida que o estímulo aumenta. Verificam-se valores médios superiores no grupo com disfunção acomodativa do que no grupo sem disfunção acomodativa. Assim como, no grupo constituído pelos sujeitos sem disfunção acomodativa observa-se que os valores médios tendem a diminuir com o aumento do estímulo acomodativo. No entanto, o grupo que manifestou disfunção acomodativa demonstra uma tendência para aumentar à medida que o estímulo aumenta.

De acordo com Zhou *et al*⁹¹, verificou-se um aumento do RMS das HOAs a partir do estímulo acomodativo 4,00 D. O mesmo não se observa nos resultados da maioria dos grupos deste estudo. Observou-se que nos pacientes com disfunção acomodativa, os valores permaneceram aproximadamente constantes com pequenas oscilações e no grupo que não apresenta disfunção acomodativa verifica-se o aumento à medida que o estímulo aumenta. Neste caso, são os valores médios do grupo sem disfunção acomodativa que se apresentam superiores ao grupo com disfunção acomodativa.

No subgrupo dos sujeitos sintomáticos observa-se que apresenta a distribuição dos valores do estudo mencionado, contudo o subgrupo constituído por

assintomáticos não se verifica o mesmo e, nos últimos estímulos, é inferior aos valores médios do grupo sintomático.

Segundo Plainis *et al.*¹⁹, durante a acomodação há uma tendência para a aberração coma aumentar. Esta tendência positiva ocorreu em todos os grupos estudados, nomeadamente, nos grupos constituídos por sujeitos sem disfunção acomodativa e os que apresentaram disfunção acomodativa, em que o grupo sem disfunção acomodativa apresentou valores muito superiores ao grupo com disfunção acomodativa. Nos sujeitos com insuficiência acomodativa verificam-se valores médios mais baixos do que nos sujeitos com insuficiência acomodativa. O subgrupo composto por sintomáticos apresenta valores médios superiores ao do subgrupo constituído por assintomáticos.

No estudo de Ke *et al.*⁹⁶, o RMS das LOAs aumentou em todos os estímulos, especialmente nos estímulos de 1,00 D e de 2,00 D. Os resultados deste estudo não vão de encontro aos resultados de Ke *et al.* No grupo sem disfunção acomodativa verificou-se que os seus valores médios tendem para se manterem constantes e, o grupo com disfunção acomodativa, indicava valores médios superiores relativamente ao outro grupo, contudo em nenhum estímulo se observou um aumento significativo para os dois grupos. Entre os pacientes sintomáticos e os que não manifestaram sintomas, é observado um aumento ao longo da estimulação acomodativa, mas com algumas oscilações, tal como valores médios superiores no subgrupo dos sujeitos com sintomas. No subgrupo de pacientes com insuficiência acomodativa e com inflexibilidade acomodativa, constata-se uma descida dos valores ao longo dos estímulos acomodativos, em que os valores médios dos sujeitos com insuficiência acomodativa são superiores aos dos sujeitos com inflexibilidade acomodativa.

Foram encontradas diferenças para os valores das respostas acomodativas à medida que o estímulo era aumentado, tal como se observa no estudo de Franco e Gomes.²³ No presente estudo, nos pacientes que manifestavam sintomatologia observa-se uma tendência dos seus os valores médios serem superiores aos sujeitos assintomáticos. Nas disfunções acomodativas, os sujeitos com insuficiência acomodativa apresentam valores médios superiores aos dos pacientes com inflexibilidade acomodativa. Assim como, o grupo composto por pacientes com

disfunção acomodativa tende a manifestar valores médios da resposta acomodativa inferiores aos apresentados pelos sujeitos sem disfunção acomodativa.

Um valor negativo do atraso acomodativo indica que a resposta acomodativa é maior do que o estímulo, isto é, existe um avanço acomodativo (*lead*), enquanto que, um valor positivo deste parâmetro demonstra que a resposta acomodativa é menor do que o estímulo, apresentando um atraso acomodativo (*lag*). Os fatores que podem influenciar o resultado desta variável são: o valor da aberração esférica no estado relaxado, a profundidade de campo e o próprio método de avaliação acomodativa utilizado.⁸⁹ Neste estudo verificou-se diferenças entre os grupos analisados. O subgrupo que apresentou sintomatologia demonstra valores inferiores aos sujeitos que não manifestaram sintomas. No subgrupo composto por sujeitos com insuficiência acomodativa verifica-se *lag* em todos os valores e estes são superiores aos do subgrupo constituído por sujeitos diagnosticados com inflexibilidade acomodativa. Os sujeitos com disfunção acomodativa apresentam valores médios muito superiores aos que não foram identificados com disfunção acomodativa.

5.1 Subgrupo composto por sujeitos sintomáticos

Os sujeitos do subgrupo dos sintomáticos, embora apresentassem valores normais do foro acomodativo e da visão binocular para a sua idade na fase 1, manifestam vários sintomas no seu quotidiano, como por exemplo, a sensação os olhos cansados quando leem ou executam tarefas em VP (P1), a sensação de sonolência quando leem ou executam tarefas em VP (P4) tal como a sensação de “tensão” à volta dos olhos quando leem ou executam tarefas em VP (P12).

Na maioria dos parâmetros apresentados anteriormente, verifica-se que os sujeitos pertencentes ao subgrupo sintomático se comportam de forma diferente dos sujeitos assintomáticos. Nomeadamente, apresentam valores superiores relativamente aos assintomáticos nas seguintes variáveis: RMS das HOA, das LOAs, esférico e coma tal como na resposta acomodativa.

Perante as observações apresentadas, é possível verificar que existem diferenças nos parâmetros acomodativos calculados a partir de aberrometria, o que indica que o método utilizado neste estudo pode vir a ajudar a diagnosticar

precocemente as disfunções acomodativas. Estes resultados não poderiam ser obtidos numa avaliação optométrica comum, o que evidencia mais uma vantagem deste método de avaliação acomodativa com base na qualidade da imagem retiniana.

5.2 Principais limitações deste estudo

A totalidade dos sujeitos que participaram neste estudo (15) é inferior aos 20 sujeitos necessários para cada condição, de forma a avaliar, com um intervalo de confiança de 95%, uma diferença significativa de 0,75 D. E uma das razões para a pequena amostra apresentada, relaciona-se com o impacto da pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2. Na medida em que, após cada confinamento que o país atravessou, foi necessário recrutar novos pacientes para realizar a fase 1 pois, mais de metade dos pacientes que já a tinham realizado viam-se incapacitados de executar a fase 2 do estudo, por diversas razões pessoais. Contudo, os pacientes iniciais que já tinham realizado a fase 1 pré-pandemia, só puderam concluir a fase 2 passado alguns meses, o que pode ter influenciado os resultados da segunda fase devido ao deterioramento da visão causado pelo estilo de vida durante a pandemia.^{1-4,8} A maior limitação deste estudo centra-se no facto de que foram utilizadas diferentes lentes para o estímulo da acomodação na fase 2 do procedimento experimental. O sistema de avaliação das aberrações oculares ao longo da estimulação acomodativa foi utilizado com uma armação de prova (com as lentes 0,00 D, -1,00 D, -2,00 D e -4,00 D) para 11 pacientes e com um seletor de lentes (-1,00 D, -2,00 D, -2,50 D e -5,00 D) para 4 pacientes.

Capítulo 6- Conclusões e trabalho futuro

Neste capítulo é feita uma síntese das conclusões mais importantes do estudo.

O estudo dinâmico e em tempo real da acomodação permitiu encontrar diferenças em parâmetros acomodativos calculados a partir da aberrometria. Foi possível verificar as seguintes diferenças:

- O grupo composto por sujeitos com disfunção acomodativa apresentou valores médios superiores ao grupo constituído por sujeitos sem disfunção acomodativa no parâmetro do RMS das LOAs e esférico tal como no atraso acomodativo, enquanto que nas restantes variáveis foram os sujeitos sem disfunção que apresentaram valores médios superiores.
- Os sujeitos diagnosticados com inflexibilidade acomodativa demonstraram valores médios superiores no parâmetro do RMS das HOAs, da aberração coma e da resposta acomodativa. Ao passo que o subgrupo constituído por sujeitos com insuficiência acomodativa supera os valores médios do subgrupo composto por pacientes com inflexibilidade acomodativa nos restantes parâmetros.

A sintomatologia visual associada a problemas de acomodação pode vir a ser descrita a partir da avaliação da alteração das aberrações oculares com a acomodação, nomeadamente, pelo facto dos sujeitos sintomáticos manifestarem valores médios superiores aos dos assintomáticos em todas as variáveis estudadas. É ainda verificada uma exceção no atraso acomodativo, em que os pacientes com sintomatologia apresentam valores maiores do que os sujeitos assintomáticos.

O questionário CISS embora tenha sido elaborado, idealmente, para a avaliação dos sintomas da insuficiência de convergência, é altamente validado pela comunidade científica e dos poucos que inclui as disfunções acomodativas. Seria pertinente a realização de um questionário específico para os sintomas das anomalias acomodativas de forma a culminar esta lacuna e, assim, diagnosticar corretamente os sintomas destas disfunções.

Para além de confirmar as diferenças expectáveis dos sujeitos sem disfunção acomodativa e dos que manifestam disfunção acomodativa, é inferido que os pacientes do grupo sem disfunção acomodativa também apresentam diferenças entre si, nomeadamente, os sujeitos sintomáticos apresentam resultados muito superiores em relação aos sujeitos que não apresentaram sintomatologia e, como estas diferenças não poderiam ser obtidas numa avaliação optométrica comum, é evidenciado o quão importante é continuar a pesquisa desta área. Principalmente, pelo facto de não se diagnosticarem corretamente as condições acomodativas dos pacientes e, como resultado, o tratamento ficar aquém das expectativas. Logo, este método tem potencial para ajudar no diagnóstico precoce das disfunções acomodativas.

Conforme mencionado previamente, existem poucos artigos que estudam a variação da acomodação através da aberrometria, ainda menos artigos se encontram que contenham sujeitos com sintomatologia acomodativa. Futuramente, seria pertinente realizar um estudo onde se aplicasse o procedimento utilizado, de uma forma uniforme, numa maior amostra e com mais disfunções acomodativas.

Bibliografía

1. Park M, Ahn YJ, Kim SJ, You J, Park KE, Kim SR. Changes in Accommodative Function of Young Adults in their Twenties following Smartphone Use. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(2):253-260. doi:10.14479/jkoos.2014.19.2.253
2. Jaiswal S, Asper L, Long J, Lee A, Harrison K, Golebiowski B. Ocular and visual discomfort associated with smartphones, tablets and computers: what we do and do not know. *Clin Exp Optom.* 2019;102(5):463-477. doi:10.1111/cxo.12851
3. Porcar E, Montalt JC. Symptomatic accommodative and binocular dysfunctions from the use of flat-panel displays. *Int J Ophthalmol.* 2018;11(3):501-505. doi:10.18240/ijo.2018.03.22
4. Coles-Brennan C, Sulley A, Young G. Management of digital eye strain. *Clin Exp Optom.* 2019;102(1):18-29. doi:10.1111/cxo.12798
5. García-Muñoz Á, Carbonell-Bonete S, Cantó-Cerdán M, Cacho-Martínez P. Accommodative and binocular dysfunctions: prevalence in a randomised sample of university students. *Clin Exp Optom.* 2016;99(4):313-321. doi:10.1111/cxo.12376
6. Richman J, Laudon R. A survey of the prevalence of binocular vision and accommodative dysfunctions in a sample of optometry students. *J Behav Optom.* 2002;13(2):33.
7. Cacho-Martínez P, García-Muñoz Á, Ruiz-Cantero MT. Is there any evidence for the validity of diagnostic criteria used for accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions? *J Optom.* 2014;7(1):2-21. doi:10.1016/j.optom.2013.01.004
8. Hussaindeen J, Gopalakrishnan A, Sivaraman V, Swaminathan M. Managing the myopia epidemic and digital eye strain post COVID-19 pandemic - What eye care practitioners need to know and implement? *Indian J Ophthalmol.* 2020;68(8):1710-1712. doi:10.4103/ijo.IJO_2147_20

9. Ostrin LA, Glasser A. Accommodation measurements in a prepresbyopic and presbyopic population. *J Cataract Refract Surg.* 2004;30(7):1435-1444. doi:10.1016/j.jcrs.2003.12.045
10. Win-hall DM, Ostrin L a, Kasthurirangan S. with the Grand Seiko and Hartinger. *Optom Vis Sci.* 2007;84(9):879-887.
11. Win-Hall DM, Glasser A. Objective accommodation measurements in prepresbyopic eyes using an autorefractor and an aberrometer. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34(5):774-784. doi:10.1016/j.jcrs.2007.12.033
12. Aldaba M, Gómez-López S, Vilaseca M, Pujol J, Arjona M. Comparing autorefractors for measurement of accommodation. *Optom Vis Sci.* 2015;92(10):1003-1010. doi:10.1097/OPX.0000000000000685
13. Glasser A, Hilmantel G, Calogero D, et al. Special Report: American Academy of Ophthalmology Task Force Recommendations for Test Methods to Assess Accommodation Produced by Intraocular Lenses. *Ophthalmology.* 2017;124(1):134-139. doi:10.1016/j.ophtha.2016.09.029
14. Maeda N. Clinical applications of wavefront aberrometry - A review. *Clin Exp Ophthalmol.* 2009;37(1):118-129. doi:10.1111/j.1442-9071.2009.02005.x
15. Oliveira CM, Ferreira A, Franco S. Wavefront analysis and Zernike polynomial decomposition for evaluation of corneal optical quality. *J Cataract Refract Surg.* 2012;38(2):343-356. doi:10.1016/j.jcrs.2011.11.016
16. He JC, Burns SA, Marcos S. Monochromatic aberrations in the accommodated human eye. *Vision Res.* 2000;40(1):41-48. doi:10.1016/S0042-6989(99)00156-X
17. Hofer H, Artal P, Singer B, Aragón JL, Williams DR. Dynamics of the eye's wave aberration. *J Opt Soc Am A.* 2001;18(3):497. doi:10.1364/josaa.18.000497
18. Cheng H, Barnett JK, Vilupuru AS, et al. A population study on changes in wave aberrations with accommodation. *J Vis.* 2004;4(4):272-280. doi:10.1167/4.4.3
19. Plainis S, Ginis HS, Pallikaris A. The effect of ocular aberrations on steady-state errors of accommodative response. *J Vis.* 2005;5(5):466-477. doi:10.1167/5.5.7
20. Smith G, Bedggood P, Ashman R, Daaboul M, Metha A. Exploring ocular

- aberrations with a schematic human eye model. *Optom Vis Sci.* 2008;85(5):330-340. doi:10.1097/OPX.0b013e31816c4449
21. Gamba E, Sawides L, Dorronsoro C, Marcos S. Accommodative lag and fluctuations when optical aberrations are manipulated. *J Vis.* 2009;9(6):1-15. doi:10.1167/9.6.4
 22. Wang Y, Shao Y, Yuan Y. Simultaneously measuring ocular aberration and anterior segment biometry during accommodation. *J Innov Opt Health Sci.* 2015;8(2):1-6. doi:10.1142/S1793545815500054
 23. Franco S, Gomes J. Real-Time Measurement of Ocular Wavefront Aberrations in Symptomatic Subjects. *Biomed Res Int.* 2018;2018. doi:10.1155/2018/9415751
 24. Lombardo M, Lombardo G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(2):313-331. doi:10.1016/j.jcrs.2009.09.026
 25. Francisco Castejón-Mochón J, López-Gil N, Benito A, Artal P. Ocular wave-front aberration statistics in a normal young population. *Vision Res.* 2002;42(13):1611-1617. doi:10.1016/S0042-6989(02)00085-8
 26. Artal P, Berrio E, Guirao A, Piers P. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *J Opt Soc Am A.* 2002;19(1):137. doi:10.1364/josaa.19.000137
 27. Artal P, Guirao A. Contributions of the cornea and the lens to the aberrations of the human eye. *Opt Lett.* 1998;23(21):1713. doi:10.1364/ol.23.001713
 28. Lyall, Douglas A.M., Sathish Srinivasan LSG. Changes in Ocular Monochromatic Higher-Order. 2013;90(9):996-1003.
 29. Schwiegerling J. Theoretical limits to visual performance. *Surv Ophthalmol.* 2000;45(2):139-146. doi:10.1016/S0039-6257(00)00145-4
 30. Porter J, Guirao A, Cox IG, Williams DR. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population. *J Opt Soc Am A.* 2001;18(8):1793. doi:10.1364/josaa.18.001793
 31. Resan M, Vukosavljevi M, Milivojevi M. Wavefront Aberrations. *Adv Ophthalmol.* 2012;(2). doi:10.5772/24441

32. Noll RJ. Zernike Polynomials and Atmospheric Turbulence. *J Opt Soc Am.* 1976;66(3):207-211. doi:10.1364/JOSA.66.000207
33. Dai G. *Wavefront Optics for Vision Correction.* SPIE; 2008.
34. Oliveira CM, Franco S. Wavefront optics and retinal image quality. *Optom Reports.* 2013;3(1):1. doi:10.4081/optometry.2013.e1
35. Mcalinden C, McCartney M, Moore J. Mathematics of Zernike polynomials: A review. *Clin Exp Ophthalmol.* 2011;39(8):820-827. doi:10.1111/j.1442-9071.2011.02562.x
36. Applegate RA, Ballentine C, Gross H, Sarver EJ, Sarver CA. Visual acuity as a function of Zernike mode and level of root mean square error. *Optom Vis Sci.* 2003;80(2):97-105. doi:10.1097/00006324-200302000-00005
37. Smolek MK, Klyce SD. Zernike Polynomial Fitting Fails to Represent All Visually Significant Corneal Aberrations. *Investig Ophthalmol Vis Sci.* 2003;44(11):4676-4681. doi:10.1167/iovs.03-0190
38. Masalehdan H, Loffi A, Lotfi E, Jamshidi-Ghaleh K. Modeling of zernike optical aberrations by MTF and PSF. *Opt InfoBase Conf Pap.* Published online 2010:3-5. doi:10.1364/biomed.2010.jma98
39. Marsack JD, Thibos LN, Applegate RA. Metrics of optical quality derived from wave aberrations predict visual performance. *J Vis.* 2004;4(4):322-328. doi:10.1167/4.4.8
40. Benjamin WJ. *Borish's Clinical Refraction.*; 2006. doi:10.1016/B978-0-7506-7524-6.X5001-7
41. Plainis S, Pallikaris IG. Ocular monochromatic aberration statistics in a large emmetropic population. *J Mod Opt.* 2008;55(4-5):759-772. doi:10.1080/09500340701469831
42. Marcos S, Pérez-Merino P, Dorronsoro C. Monochromatic aberrations. *Handb Vis Opt Vol One Fundam Eye Opt.* Published online 2017:293-311. doi:10.1201/9781315373034
43. Collins MJ, Wildsoet CF, Atchison DA. Monochromatic aberrations and myopia. *Vision Res.* 1995;35(9):1157-1163. doi:10.1016/0042-6989(94)00236-F

44. He JC, Sun P, Held R, Thorn F, Sun X, Gwiazda JE. Wavefront aberrations in eyes of emmetropic and moderately myopic school children and young adults. *Vision Res.* 2002;42(8):1063-1070. doi:10.1016/S0042-6989(02)00035-4
45. Yazar S, Hewitt AW, Forward H, et al. Comparison of monochromatic aberrations in young adults with different visual acuity and refractive errors. *J Cataract Refract Surg.* 2014;40(3):441-449. doi:10.1016/j.jcrs.2013.07.055
46. Paquin M, Hamam H. THE JULIUS F. NEUMUELLER AWARD IN OPTICS, 1998 Objective Measurement of Optical Aberrations. *Optom Vis Sci.* 2002;79(5):285-291.
47. Philip K, Sankaridurg P, Holden B, Ho A, Mitchell P. Influence of higher order aberrations and retinal image quality in myopisation of emmetropic eyes. *Vision Res.* 2014;105(November):233-243. doi:10.1016/j.visres.2014.10.003
48. Llorente L, Barbero S, Cano D, Dorronsoro C, Marcos S. Myopic versus hyperopic eyes: Axial length, corneal shape and optical aberrations. *J Vis.* 2004;4(4):288-298. doi:10.1167/4.4.5
49. Glasser A, Campbell MCW. Presbyopia and the optical changes in the human crystalline lens with age. *Vision Res.* 1998;38(2):209-229. doi:10.1016/S0042-6989(97)00102-8
50. Birkenfeld J, de Castro A, Ortiz S, Pascual D, Marcos S. Contribution of the gradient refractive index and shape to the crystalline lens spherical aberration and astigmatism. *Vision Res.* 2013;86:27-34. doi:10.1016/j.visres.2013.04.004
51. Thibos LN. The prospects for perfect vision. *J Refract Surg.* 2000;16(5):540-546. doi:10.3928/1081-597X-20000901-09
52. Vinas M, Dorronsoro C, Cortes D, et al. Physical optics; (330.0330) Vision, color, and visual optics; (330.4875) Optics of physiological systems; (330.5370) Physiological optics. 2015;23(4):513-522. doi:10.1364/OE.23.00948
53. Llorente L, Diaz-Santana L, Lara-Saucedo D, Marcos S. Aberrations of the human eye in visible and near infrared illumination. *Optom Vis Sci.* 2003;80(1):26-35. doi:10.1097/00006324-200301000-00005

54. Marcos S. A BERROMETRY : BASIC SCIENCE AND CLINICAL APPLICATIONS. Published online 2006:197-213.
55. Atchison DA. Invited review recent advances in measurement of monochromatic aberrations of human eyes. *Clin Exp Optom*. 2005;88(1):5-27. doi:10.1111/j.1444-0938.2005.tb06659.x
56. Liang J, Grimm B, Goelz S, Bille JF. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann–Shack wave-front sensor. *J Opt Soc Am A*. 1994;11(7):1949. doi:10.1364/josaa.11.001949
57. Moreno-Barriuso E, Marcos S, Navarro R, Burns SA. Comparing laser ray tracing, the spatially resolved refractometer, and the hartmann-shack sensor to measure the ocular wave aberration. *Optom Vis Sci*. 2001;78(3):152-156. doi:10.1097/00006324-200103000-00007
58. Yu X, Dai Y, Rao X, et al. A wavefront aberrometer for dynamic high-order aberration measurement. *Optik (Stuttg)*. 2010;121(15):1405-1411. doi:10.1016/j.ijleo.2009.02.023
59. Visser N, Berendschot TTJM, Verbakel F, Tan AN, de Brabander J, Nuijts RMMA. Evaluation of the comparability and repeatability of four wavefront aberrometers. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2011;52(3):1302-1311. doi:10.1167/iovs.10-5841
60. Fares U, Suleman H, Al-Aqaba MA, Otri AM, Said DG, Dua HS. Efficacy, predictability, and safety of wavefront-guided refractive laser treatment: Metaanalysis. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37(8):1465-1475. doi:10.1016/j.jcrs.2011.02.029
61. Glasser A. Accommodation: Mechanism and measurement. *Ophthalmol Clin North Am*. 2006;19:1-12.
62. Tunnacliffe AH. *Wavefront to Visual Optics*. 4. ed. (Opticians C: A of BD, ed.). ABDO College of Education; 1993.
63. Dubbelman M, Van Der Heijde GL, Weeber HA. Change in shape of the aging human crystalline lens with accommodation. *Vision Res*. 2005;45(1):117-132. doi:10.1016/j.visres.2004.07.032
64. Brown N. The change in shape and internal form of the lens of the eye on

- accommodation. *Exp Eye Res.* 1973;15(4):441-459. doi:10.1016/0014-4835(73)90136-X
65. Del Águila-Carrasco AJ, Kruger PB, Lara F, López-Gil N. Aberrations and accommodation. *Clin Exp Optom.* 2020;103(1):95-103. doi:10.1111/cxo.12938
66. S.Dwyer P. Clinical criteria for vergence accommodation dysfunction. *Clin Exp Optom.* 1991;74(4):112-119. doi:10.1111/j.1444-0938.1991.tb04622.x
67. Campbell GFW. Dynamics of accommodation responses of the human eye. *J Physiol.* 1960;151:285-295.
68. Szostek N, Buckhurst H, Purslow C, Drew T, Collinson A, Buckhurst P. Validation of novel metrics from the accommodative dynamic profile. *Vis.* 2018;2(3). doi:10.3390/vision2030034
69. D Shirachi, J Liu, M Lee, J Jang, J Wong LS. shirachi1978.pdf. *Am J Optom Physiol Opt.* 1978;55(9):631-641. doi:10.1097/00006324-197809000-00005
70. Allf BE, Glasser A. Subjective and objective measurement of human accommodative amplitude [2] (multiple letters). *J Cataract Refract Surg.* 2004;30(11):2250-2251. doi:10.1016/j.jcrs.2004.08.035
71. López-Alcón D, Marín-Franch I, Fernández-Sánchez V, López-Gil N. Optical factors influencing the amplitude of accommodation. *Vision Res.* 2017;141:16-22. doi:10.1016/j.visres.2016.09.003
72. Allen PM, O'Leary DJ. Accommodation functions: Co-dependency and relationship to refractive error. *Vision Res.* 2006;46(4):491-505. doi:10.1016/j.visres.2005.05.007
73. McBrien NA, Millodot M. Amplitude of accommodation and refractive error. *Investig Ophthalmol Vis Sci.* 1986;27(7):1187-1190.
74. Maheshwari R, Sukul RR, Gupta Y, et al. Accommodation: its relation to refractive errors, amblyopia and biometric parameters. *Nepal J Ophthalmol.* 2011;3(2):146-150. doi:10.3126/nepjoph.v3i2.5267
75. Shi W, Lockhart TE. Investigating the dynamic accommodative characteristics of the aging eye with the control of the intensity and chromaticity of light. *Proc Hum Factors Ergon Soc.* 2007;1(March):35-39.

doi:10.1177/154193120705100108

76. Lara F, Bernal-Molina P, Fernández-Sánchez V, López-Gil N. Changes in the objective amplitude of accommodation with pupil size. *Optom Vis Sci.* 2014;91(10):1215-1220. doi:10.1097/OPX.0000000000000383
77. Duane A. Anomalies of the Accommodation Clinically Considered. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1915;14(Pt 1):386-402. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16692358><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC1318051>
78. Scheiman M, Wick B. *Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders: Fourth Edition.*; 2013.
79. Cacho P, García Á, Lara F, Seguí MM. Diagnostic signs of accommodative insufficiency. *Optom Vis Sci.* 2002;79(9):614-620. doi:10.1097/00006324-200209000-00013
80. Lara F, Cacho P, García Á, Megías R. General binocular disorders: prevalence in a clinic population. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2001;21(1):70-74. doi:10.1046/j.1475-1313.2001.00540.x
81. Blatt N. WEAKNESS OF ACCOMMODATION. *Arch Ophthalmol.* 1931;5:362-373.
82. Rutstein R EJ. rutstein 1988.pdf. *Am J Optom Physiol Opt.* 1988;63:639-644.
83. Porcar E, Martinez-Palomera A. Prevalence of general binocular dysfunctions in a population of university students. *Optom Vis Sci.* 1997;74(2):111-113. doi:10.1097/00006324-199702000-00023
84. Daum KM. Accommodative dysfunction. *Doc Ophthalmol.* 1983;55(3):177-198. doi:10.1007/BF00140808
85. Darko-Takyi C, Khan NE, Nirghin U. A review of the classification of nonstrabismic binocular vision anomalies. *Optom Reports.* 2016;5(1):1-7. doi:10.4081/optometry.2016.5626
86. García-Muñoz Á, Carbonell-Bonete S, Cacho-Martínez P. Symptomatology associated with accommodative and binocular vision anomalies. *J Optom.* 2014;7(4):178-192. doi:10.1016/j.optom.2014.06.005
87. Hussaindeen JR, Rakshit A, Singh NK, et al. Prevalence of non-strabismic

- anomalies of binocular vision in Tamil Nadu: report 2 of BAND study. *Clin Exp Optom*. 2017;100(6):642-648. doi:10.1111/cxo.12496
88. He JC, Burns SA, Marcos S. Monochromatic aberrations in the accommodated human eye. *Vision Res*. 2000;40(1):41-48. doi:10.1016/S0042-6989(99)00156-X
 89. López-Gil N, Fernández-Sánchez V. The change of spherical aberration during accommodation and its effect on the accommodation response. *J Vis*. 2010;10(13):1-15. doi:10.1167/10.13.12
 90. Hazel CA, Cox MJ, Strang NC. Wavefront aberration and its relationship to the accommodative stimulus-response function in myopic subjects. *Optom Vis Sci*. 2003;80(2):151-158. doi:10.1097/00006324-200302000-00011
 91. Zhou XY, Wang L, Zhou XT, Yu ZQ. Wavefront aberration changes caused by a gradient of increasing accommodation stimuli. *Eye*. 2015;29(1):115-121. doi:10.1038/eye.2014.244
 92. Hyman L. Myopic and hyperopic refractive error in adults: An overview. *Ophthalmic Epidemiol*. 2007;14(4):192-197. doi:10.1080/09286580701535517
 93. Midelfart A, Kinge B, Midelfart S, Lydersen S. Prevalence of refractive errors in young and middle-aged adults in Norway. *Acta Ophthalmol Scand*. 2002;80(5):501-505. doi:10.1034/j.1600-0420.2002.800508.x
 94. Morgan MW. The clinical aspects of accommodation and convergence. *Am J Optom*. 1944;21(8):301-313.
 95. Atchison DA, Varnas SR. Accommodation stimulus and response determinations with autorefractors. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2017;37(1):96-104. doi:10.1111/opo.12340
 96. Ke B, Mao X, Jiang H, et al. The relationship between high-order aberration and anterior ocular biometry during accommodation in young healthy adults. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2017;58(13):5628-5635. doi:10.1167/iovs.17-21712

Anexos

Anexo 1

Questões		Nunca	Com pouca frequência	Às vezes	Com muita frequência	Sempre
1	Sente os olhos cansados quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
2	Sente desconforto ocular quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
3	Sente dores de cabeça quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
4	Sente-se sonolento quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
5	Perde a concentração quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
6	Sente dificuldade em lembrar-se do que leu?					
7	Tem visão dupla quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
8	Vê as palavras parecem mover-se, saltarem, nadar ou a parecer que					

	flutuam na página quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
9	Sente que lê devagar? Os					
10	Os seus olhos doem quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
11	Sente os olhos inflamados quando lê ou executa tarefas em visão próxima? Tem					
12	Tem a sensação de tensão à volta dos olhos quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
13	Repara se as palavras focam e desfocam quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
14	Perde-se no texto quando lê ou executa tarefas em visão próxima?					
15	Sente necessidade de reler a mesma linha de um texto?					
		_x0	_x1	_x2	_x3	_x4
Pontuação total						

Anexo 2

CONSENTIMENTO INFORMADO, LIVRE E ESCLARECIDO PARA PARTICIPAÇÃO EM INVESTIGAÇÃO
Por favor, leia com atenção a seguinte informação. Se achar que algo está incorreto ou que não está claro, não hesite em solicitar mais informações. Se concorda com a proposta que lhe foi feita, queira assinar este documento.

4.4.2.1 Título do estudo.

Estudo dinâmico e em tempo real da acomodação em disfunções acomodativas.

Enquadramento: O estudo será realizado no âmbito de uma tese de mestrado em desenvolvimento no Centro de Física da Universidade do Minho sob a orientação da Doutora Sandra Franco.

Explicação do estudo:

O objetivo deste estudo é estudar dinamicamente e em tempo real da acomodação de forma a perceber se existem diferenças em parâmetros acomodativos calculados a partir de aberrometria.

Os exames serão feitos em duas sessões, numa primeira será feita a avaliação geral e numa segunda um exame mais específico.

Descrição dos exames a realizar:

Na primeira fase serão incluídos os seguintes exames:

Preenchimento de um questionário sobre a existência de sintomatologia associada a realização de tarefas visuais.

Acuidade Visual. Será avaliada a visão em termos quantitativos através da identificação de letras de diferentes tamanhos, projetadas num écran.

Avaliação do erro refrativo. Esta avaliação será realizada com um retinoscópio que projeta luz no olho e que, através do comportamento desta ao ser refletida pela retina, permite determinar as lentes que compensam a existência de um erro refrativo. Após este exame será realizado serão avaliadas as respostas dadas pelo participante a um conjunto de lentes oftálmicas colocadas à frente dos olhos recorrendo a um foróptero (instrumento com várias lentes) ou armação de prova.

Avaliação da resposta acomodativa. Este procedimento é semelhante ao realizado anteriormente, mas agora o participante está a fixar um conjunto de letras colocadas a 40/50 cm.

Avaliação da visão binocular. Nesta fase serão realizados uma série de procedimentos para avaliar o alinhamento dos eixos visuais. Para isso serão usados prismas (lentes) do foróptero ou armação de prova. Durante a realização do teste é normal o participante ver duas imagens devido à colocação dos prismas e que desaparece após estes serem retirados.

Avaliação dos parâmetros acomodativos. Durante a realização desta fase do exame visual, serão avaliadas e registadas as respostas à colocação de lentes esféricas negativas e positivas à visualização de letras colocadas a 40/ 50 cm. Será

normal durante a realização destes testes a visão desfocada das mesmas. Esta avaliação será feita algumas vezes para avaliar diferentes parâmetros acomodativo.

Realização de um questionário (CISS). Necessário preencher as 15 questões do questionário mencionado.

Na segunda fase será realizado o seguinte exame:

Avaliação das aberrações oculares: Para medir as aberrações de frente de onda será usado um aberrómetro de Shack-Hartmann. Este sistema funciona com níveis de intensidade de radiação dez vezes inferior aos valores máximos de exposição permitida determinados pela norma ANSI Z136-2000.

O sistema adquire automaticamente os dados da frente de onda não estando previstas consequências na realização deste exame.

Condições e financiamento:

A participação será de carácter voluntário podendo desistir a qualquer momento, sem que essa decisão tenha qualquer tipo de consequência.

Não haverá qualquer pagamento de deslocações ou outras contrapartidas financeiras.

Confidencialidade e anonimato:

Será garantida a confidencialidade e uso exclusivo dos dados recolhidos para o presente estudo.

A identificação dos participantes nunca será tornada pública;

Assinatura/s: _____

-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-

Declaro ter lido e compreendido este documento, bem como as informações verbais que me foram fornecidas pela/s pessoa/s que acima assina/m./ Foi-me garantida a possibilidade de, em qualquer altura, recusar participar neste estudo sem qualquer tipo de consequências. Desta forma, aceito participar neste estudo e permito a utilização dos dados que de forma voluntária forneço, confiando em que apenas serão utilizados para esta investigação e nas garantias de confidencialidade e anonimato que me são dadas pelo/a investigador/a.

Nome: _____

Assinatura: _____

Data: /..... /.....

ESTE DOCUMENTO É COMPOSTO POR 2 PÁGINAS E FEITO EM DUPLICADO: UMA VIA PARA O/A INVESTIGADOR/A, OUTRA PARA A PESSOA QUE CONSENTE.