

Universidade do Minho
Escola de Ciências

Vitor Hugo da Silva Pinto

**Validação de um novo método de medida
de refração objetiva através de um
smartphone – EyeQue Personal Vision
Tracker™**

Vitor Hugo da Silva Pinto **Validação de um novo método de medida de refração objetiva através de um smartphone – EyeQue Personal Vision Tracker™**

UMinho|2019

janeiro de 2019



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Vitor Hugo da Silva Pinto

**Validação de um novo método de medida
de refração objetiva através de um
smartphone – *EyeQue Personal Vision
Tracker™***

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Optometria Avançada

Trabalho realizado sob orientação do
Professor Doutor António Queirós Pereira
e do
Doutor Miguel Faria Ribeiro

Janeiro 2019

DECLARAÇÃO

Nome: Vítor Hugo da Silva Pinto

Endereço eletrónico: vitoprinto@gmail.com

Número do Bilhete de Identidade: 14849001

Título da Dissertação de Mestrado:

Validação de um novo método de medida de refração objetiva através de um *smartphone* – *EyeQue Personal Vision Tracker™*

Orientadores:

Professor Doutor António Queirós Pereira

Doutor Miguel Faria Ribeiro

Ano de conclusão: 2019

Designação do Mestrado: Optometria Avançada

De acordo com a legislação em vigor, não é permitida a reprodução de qualquer parte desta dissertação.

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

“Nalgum lado, algo incrível está à espera de ser descoberto.”

- Carl Sagan

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi uma longa jornada e a sua trajetória marcada por inúmeros desafios e decisões, mas apesar do longo caminho reuni contributos de várias pessoas que se tornaram indispensáveis para que seguisse sempre um rumo certo em cada momento.

Um agradecimento especial aos meus orientadores Professor Doutor António Queirós Pereira e Doutor Miguel Faria Ribeiro por todo o apoio ao longo da viagem e preciosa ajuda científica que contribui para o enriquecimento do trabalho realizado.

Aos meus amigos de sempre, a cada um de vocês agradeço a motivação incondicional, a força e apoio excepcionais. Por serem grandes pilares nos momentos cruciais. Aos que cresceram comigo e aos que fazem parte do que melhor Braga me deu. A todos sou grato pela nossa amizade.

À família que não poderia deixar de ser recordada sem exceção, em especial aos meus avós por serem sempre o símbolo das minhas raízes.

Aos meus pais e irmãos, sem eles nada seria possível. Por todos os valores incutidos, pela educação e por todo o empenho que dedicaram à minha formação. Ao meu pai pela força, ao Pedro pelos olhares, à Mariana pelos sorrisos e à minha mãe por Tudo.

O meu OBRIGADO a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, porque excluindo qualquer um não teria sido possível chegar ao final.

RESUMO

Atualmente, um dos propósitos da Optometria é a avaliação do estado refrativo do olho humano e em termos clínicos essa prática é revista através do exame subjetivo. Contudo, um dos atuais objetivos para a comunidade científica tem sido a criação de uma ferramenta que seja capaz de estimar a refração de um sujeito, quando executada pelo mesmo de forma autónoma.

A partir de equipamentos de medida da refração objetiva, bem como, dos conhecimentos das aberrações do olho humano, que permitam estimar a métrica de medida do estado refrativo surgiu este estudo para se avaliar a viabilidade do *EyeQue PVT™*, um instrumento baseado na obtenção da refração ocular através de um dispositivo móvel.

Os principais objetivos deste trabalho foram avaliar a repetibilidade do *EyeQue PVT™* comparando os resultados do mesmo com os do autorrefratómetro de campo aberto e de um aberrómetro. Baseado no valor das aberrações do olho humano foram estimadas as métricas de medida, em função do diâmetro pupilar, que mais se assemelham à técnica recorrida para o estudo.

Foram avaliados 60 olhos de 30 sujeitos com idades compreendidas entre 18 e 24 anos ($20,47 \pm 1,74$ anos) e um valor médio da esfera registado com o autorrefratómetro de campo aberto de $-0,50 \pm 1,43D$. Registaram-se os valores de refração objetiva através de cinco medidas com o autorrefratómetro (Grand Seiko WAM5500), com recurso ao *EyeQue PVT™* e à sua aplicação móvel instalada num telemóvel Apple iPhone 8 Plus com um sistema operativo iOS 12.1, obteve-se a refração de cada paciente em ambos os olhos. Através de medidas registadas previamente com o aberrómetro estimou-se a métrica de medida do estado refrativo que mais se assemelha ao equipamento em estudo.

Em termos clínicos a diferença do valor da esfera encontrada com a aplicação móvel em estudo mostra um valor ligeiramente mais miópico em comparação com o equipamento de refração objetiva comercial utilizado, em média de $-0,20D$, sendo que as diferenças não são significativas, mesmo com outras métricas em estudo. Contudo, estes valores revelam uma grande dispersão, sendo que o intervalo de confiança de 95% varia entre $1,84D$ e $-2,16D$. A repetibilidade de medidas em sujeitos míopes apresenta diferenças clinicamente significativas e em casos de miopias altas registam-se valores da esfera com desvios hipermetrópicos.

Em suma, concluímos que o dispositivo móvel EyeQue™ apresenta uma baixa precisão na medição do erro refrativo, embora tenha uma boa exatidão.

ABSTRACT

Nowadays, one of the purposes of optometry is the evaluation of the refractive state of the human eye and in clinical terms this practice is reviewed by subjective exam. However, one of the current objectives for the scientific community linked to the area will be the creation of a tool that is able to estimate the refraction of a subject, when executed by the same one in an autonomous manner.

Therefore, the challenge will be to replicate, objectively, the subjective criterion of the individual.

Using measurement equipment of the objective refraction as well as of knowledge of the aberrations of the human eye that allow to estimate the metric of measure of the refraction this study appeared to evaluate the viability of *EyeQue PVT*™, an instrument that arose as response to the challenge described.

The main objectives of this study are to evaluate the viability of the *EyeQue PVT*™ by evaluating the results of the same with those of an open field autorefractometer and through the knowledge of the aberrations estimate the measurement metric, depending on the pupil diameter, which most resembles the technique used during the study.

The measures were performed in 60 eyes of 30 subjects with ages ranged between 18 and 24 ($20,47 \pm 1,74$) years with a mean value of the sphere registered with the open field autorrefractometer of $-0,50 \pm 1,43D$. Objective refractive values were recorded using five measures with the Grand Seiko WAM 5500, using the mobile application of the *EyeQue*™ installed on an Apple iPhone 8 Plus mobile phone with Ios 12.1 operating system was obtained the refraction of each patient in both eyes. Through previous measurements registered with the aberrometer was estimated the refractive metric that most likely resembles the equipment under study.

In clinical terms, the difference in the value of the sphere found with the mobile application under study shows a slightly myopic value in comparison with the commercial objective refraction equipment used, on average of $-0.20D$, and these differences are not significant, even with other metrics under study. However, these values reveal a great dispersion, with the 95% confidence interval varying between $1.84D$ and $-2.16D$. The repeatability of measurements in myopic subjects presents clinically significant differences and in cases of high myopia values of the sphere with hypermetropic deviations were recorded.

Therefore, we conclude that the *EyeQue*™ mobile device has low accuracy in refractive error measurement.

ÍNDICE

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
ABBREVIATURAS E ACRÓNIMOS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABELAS	xiv
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
1.1 Introdução	15
1.2 Erros refrativos	16
1.2.1 Ametropias esféricas.....	17
1.2.2 Astigmatismo	17
1.3 Técnicas de medida da refração objetiva do olho.....	18
1.3.1 Autorrefratometria	18
1.3.2 <i>EyeQue PVT™</i>	19
1.4 Aberrometria	20
2. HIPÓTESES E OBJETIVOS DO ESTUDO.....	23
2.1 Formulação do problema.....	23
2.2 Objetivos do estudo	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Tipo/Desenho do estudo	24
3.2 População em estudo e tamanho da amostra	24
3.3 Critérios de inclusão	25
3.4 Procedimento experimental	25
3.4.1 Parâmetros estudados	25
3.4.2 <i>EyeQue Personal Vision Tracker™</i>	26
3.4.3 Autorrefração	29
3.4.4 Aberrometria	29
3.5 Análise estatística	30
4. RESULTADOS.....	32
4.1 Descritivos	32
4.2 Repetibilidade do valor da esfera com o <i>EyeQue™</i>.....	38
4.3 Por grupos refrativos	40

4.4	Por diâmetro pupilar	43
4.5	Correlações.....	Error! Bookmark not defined.
5.	DISCUSSÃO.....	46
6.	CONCLUSÕES	49
7.	BIBLIOGRAFIA.....	50

ABBREVIATURAS E ACRÓNIMOS

AR	Autorrefratómetro
Esf	Valor da esfera
C	Valor do cilindro
α	Eixo do cilindro
m	Metros
mm	Milímetros
D	Dioptrias
M	Equivalente esférico
J0	Componente astigmática no meridiano horizontal e vertical
J45	Componente astigmática oblíqua
n	Tamanho da amostra
p	Significância estatística
DP	Desvio padrão
RX	Refração
CA	Comprimento axial

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - <i>EyeQue</i> TM acoplado ao smartphone	26
Figura 3.2 – Captura do ecrã do <i>smartphone</i> durante a demonstração de teste sobre o procedimento do <i>EyeQue</i> TM	27
Figura 3.3 - O sistema de medição do erro refrativo.	27
Figura 3.4 – Imagens das capturas de ecrã através do <i>EyeQue</i> TM nas diferentes posições de medida do erro refrativo.....	28
Figura 3.5 - Apresentação da prescrição na aplicação.....	28
Figura 3.6 – Autorrefratómetro/Queratómetro WAM 5500.....	29
Figura 3.7 - Aberrómetro IRX3 acoplado a um computador.	30
Figura 4.1 - Valores médios do termo de erro refrativo (em dioptrias) obtidos através dos equipamentos utilizados e do cálculo da conversão vetorial da refração.....	32
Figura 4.2 - Gráficos de Bland-Altman para a comparação dos valores médios obtidos entre: A) <i>EyeQue</i> TM e o autorrefratómetro, B) <i>EyeQue</i> TM e Refração paraxial, C) <i>EyeQue</i> TM e Refração de Zernike e D) <i>EyeQue</i> TM e Relação Visual de Strehl.....	35
Figura 4.3 - Quantificação da qualidade ótica, acuidade visual estimada, de um olho direito com um erro refrativo baixo baseado em análises por um <i>software</i> das métricas de medida direta da refração objetiva e das aberrações da frente de onda obtidas pelo aberrómetro.....	37
Figura 4.4 - Quantificação da qualidade ótica, acuidade visual estimada, de um olho direito com um erro refrativo mais elevado baseado em análises por um <i>software</i> das métricas de medida direta da refração objetiva e das aberrações da frente de onda obtidas pelo aberrómetro.....	38
Figura 4.5 - Valores médios das medidas recolhidas do valor da esfera do OD (barra azul) e do OE (barra laranja) durante dez dias e respetivos desvio-padrão do paciente míope.	39

Figura 4.6 - Valores médios das medidas recolhidas do valor da esfera do OD (barra azul) e do OE (barra laranja) durante dez dias e respetivos desvio-padrão do paciente emetrope. 40

Figura 8.1 - Determinação gráfica para cada olho em estudo da acuidade visual esperada e representação da mesma através de diagramas de escala optométrica de Snellen.. 55-75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Dados demográficos da amostra (expressos em média±DP, mínimos e máximos).....	32
Tabela 2 - Dados recolhidos (expressos em média±DP e valores mínimo e máximo) de medidas do estado refrativo a partir dos equipamentos utilizados no estudo para os 60 olhos.....	34
Tabela 3 - Medidas do estado refrativo de dois olhos direitos em estudo através de todas as métricas apresentadas no mesmo.....	36
Tabela 4 - Dados da amostra para o estudo da repetibilidade	39
Tabela 5 - Dados da amostra no estudo por grupos refrativos.	41
Tabela 6 - Tabela das diferenças do <i>EyeQue</i> TM com os restantes equipamentos em estudo para os diferentes grupos refrativos.	42
Tabela 7 - Tabela das diferenças do <i>EyeQue</i> TM com os restantes equipamentos em estudo para os diferentes grupos de diâmetro pupilar.....	44

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste primeiro capítulo é introduzida a temática geral do trabalho de uma forma breve. É feita uma breve revisão da história da arte sobre o olho e as suas ametropias, dos métodos de refração para compensação das mesmas e sobre a aberrometria, para que através dos conhecimentos adquiridos se estime a métrica de medida, em função do diâmetro pupilar, que mais se assemelha à técnica utilizada no estudo.

1.1 Introdução

O sistema de imagem do corpo humano – o olho – é capaz de ajustar, de forma dinâmica, o seu poder refrativo para várias distâncias. É constituído, óticamente, pela córnea, que representa $2/3$ da totalidade do poder refrativo total do olho e pelo cristalino, uma lente biconvexa, que em caso de visão de perto é capaz de ajustar o seu poder focal – acomodação – e que representa $1/3$ do poder refrativo. [1,2]

No processo de acomodação, o cristalino altera a sua forma ficando mais convergente, devido ao aumento da sua curvatura, para que uma imagem mais próxima do olho se possa formar na retina.

O olho desenvolve-se de forma constante desde a sua formação até que o indivíduo atinja a adolescência e as alterações que este vai sofrendo ao longo desse processo têm como finalidade a emetropização. [3]

Em situação de emetropia, o comprimento axial e o poder refrativo do olho encontram-se ajustados para que um feixe de luz, proveniente do infinito forme uma imagem nítida sobre a retina, sem que o sistema ótico tenha de recorrer ao processo de acomodação. Algum comprometimento na manutenção da emetropia, quer este revele alterações nos índices de refração dos componentes oculares ou diferenças nas curvaturas e/ou distâncias entre os mesmos, resulta no aparecimento de uma ametropia e consequentemente num impacto negativo para a qualidade visual do sujeito.

A avaliação clínica do estado refrativo é um dos propósitos da Optometria e a mesma é mais comumente revista através do exame subjetivo – determinar a melhor

compensação ótica possível que minimize o erro refrativo do paciente. A graduação final é ajustada à sensibilidade e necessidades individuais. Requer a participação do paciente, pelo que se esta for dificultada ou até mesmo impossível devem ser utilizados métodos objetivos, sejam eles a retinoscopia ou a autorrefração.

A qualidade da imagem produzida pelo sistema ótico pode ser calculada e a partir deste resultado determinar o estado refrativo. A aberrometria por frente de onda de Shack-Hartmann produz uma descrição que abrange as aberrações do sistema e mapeia descritivamente o resultado das variações de caminho ótico que a luz sofre. Provavelmente, a primeira técnica indireta para a deteção do erro refrativo num olho humano foi o princípio de Scheiner, em 1619 – a luz entra no olho através de dois orifícios de um disco que é colocado junto ao mesmo, o que produz um ponto na retina quando o procedimento é realizado num olho emetropo. Será deste modo fácil distinguir dos dois pontos que se formam na retina de um olho hipermetrope ou míope. É possível, quando executado em diferentes meridianos, avaliar o astigmatismo em termos de magnitude e de rotação do eixo. [2,4]

O objetivo atual para a comunidade será criar uma ferramenta de baixo custo capaz de estimar, de forma prática a medida do estado refrativo do olho humano.

O *EyeQue PVT™* é um sistema de refração monocular em que se combinam de forma autónoma um telescópio monocular a um *smartphone*. A aplicação móvel garante o fornecimento de cada passo para a obtenção do resultado final através de interações com o paciente. A repetição do procedimento protocolado da aplicação resulta na avaliação do erro refrativo do olho.

Assim sendo, replicar de uma forma objetiva o critério subjetivo de cada indivíduo é o desafio, dado que o processo visual passa igualmente pela via neuro-sensorial e não exclusivamente pela via ótica.

1.2 Erros refrativos

De todas as formas passíveis de tratamento e que provocam algum distúrbio ao nível da função visual humana, os erros refrativos são a mais comum. [5] Segundo *Huang et al.* [6], a prevalência da miopia, a nível mundial, está a aumentar, principalmente no

continente asiático. [5] Os problemas refrativos continuam a ser a razão mais comum apresentada pelos pacientes nas consultas de Optometria/Oftalmologia.

1.2.1 Ametropias esféricas

A situação de ametropia não compensada é umas das razões mais frequentes para uma redução na acuidade visual de um paciente. [7] Tal condição pode ser corrigida através de dois métodos distintos de refração – refração objetiva ou refração subjetiva. Relativamente ao primeiro, o paciente não intervém de forma ativa na realização do exame, sendo que o examinador não depende das respostas do mesmo. Contrariamente ao método objetivo, o método subjetivo já requer uma posição ativa do paciente ao longo da realização do exame, dado que deste dependem as respostas às questões efetuadas pelo Optometrista para que a melhor correção ótica possível seja encontrada de forma a satisfazer as necessidades visuais de cada um.

As ametropias esféricas são as mais simples. Por possuírem simetria rotacional podem ser corrigidas com lentes convergentes ou divergentes, isto é, lentes positivas ou negativas. Podem ocorrer devido a diversos fatores, sendo que as alterações ao nível do comprimento axial (CA) são as mais frequentes. Quando o CA é menor do que o valor necessário para conjugar a posição da retina com a distância focal do olho, este torna-se hipermetrope. A situação contrária manifesta-se no aparecimento de miopia. Outras razões para o comprometimento da emetropia podem resultar de alterações nos componentes óticos e oculares do olho, sejam alterações nos raios de curvatura, nos índices de refração. [8]

1.2.2 Astigmatismo

O astigmatismo resulta usualmente da falta de simetria rotacional dos componentes oculares, nomeadamente da córnea. No entanto também pode ser induzido por descentramento e/ou inclinação entre o eixo de simetria dos diferentes componentes oculares. No astigmatismo, o poder refrativo do sistema visual é diferente em diferentes meridianos. Pode ser considerado externo se a causa residir em diferenças na curvatura da córnea ou interno no caso do cristalino. Se os eixos forem perpendiculares entre si, então o astigmatismo é classificado como regular e é compensado através de lentes

cilíndricas. Se os eixos não forem perpendiculares então está-se perante um caso de astigmatismo irregular. [9]

1.3 Técnicas de medida da refração objetiva do olho

A refração objetiva é atualmente uma parte importante do exame optométrico, dado que os autorrefratómetros podem ser encontrados em qualquer gabinete clínico de práticas optométricas ou oftalmológicas. Segundo *Jorge et al.* [10] o melhor ponto de partida para um exame de refração subjetivo é a retinoscopia, contudo, a autorrefração é largamente utilizada por vários profissionais da área.

Ao longo deste estudo, não foi utilizado nenhum método de cicloplegia, embora vários autores apontem este método como mais fiável. [11] Para além de todos os riscos provenientes do uso desta medicação, em Portugal, os optometristas não estão autorizados a administrar nenhum tipo de fármacos.

Assim sendo, recorreu-se ao autorrefratómetro de campo aberto e ao equipamento sujeito a validação para a obtenção dos valores de medida do estado refrativo.

1.3.1 Autorrefratometria

A técnica da autorrefratometria é uma prática comum por ser demonstrar facilidade na aquisição de resultados e reduzido tempo na mesma. Por ser uma prática objetiva não requer nenhuma intervenção por parte do sujeito. Contudo, a maioria dos clínicos não prescreve baseando-se nos resultados obtidos. [12]

Segundo *Bullimore et al.* o AR de campo aberto minimiza eventuais estímulos acomodativos que poderiam não ser contornados com a utilização de um AR de campo fechado. [13] Com este segundo tipo de equipamento podem insurgir questões relacionadas com a exatidão dos resultados, dado que durante a sua obtenção se procede à medição monocular.

Em olhos normais e saudáveis, a repetibilidade da autorrefratometria é melhor quando efetuada centralmente, sendo que esta tem valores menos fiáveis à medida que a excentricidade aumenta. [14]

1.3.2 *EyeQue PVT™*

O *EyeQue PVT™* é um equipamento de medição da refração objetiva, sendo de utilização pessoal, sendo composto por três elementos essenciais para uma correta utilização – a ocular *EyeQue™*, um *smartphone* e a aplicação *myEyeQue* descarregada no mesmo.

De maneira a que os raios luminosos cheguem à retina num só ponto e se forme uma imagem nítida muitas vezes são necessários meios óticos de correção – seja com lentes oftálmicas ou de contacto. O *EyeQue™* mede o comprimento necessário para colocar a focal na retina, de modo a que o seu utilizador receba no final da realização dos testes da aplicação um resultado – a graduação necessária para a correção da sua ametropia. [15]

O dispositivo monocular é acoplado ao *smartphone* e não precisa de ligação à corrente elétrica para funcionar, porque o mesmo aproveita a luz do ecrã a que está associado. Através da aplicação o paciente segue os passos necessários para a correta realização do teste. Pela ocular consegue ver o ecrã e terá de alinhar nove séries de duas linhas paralelas – uma vermelha e uma verde – até que estas se encontrem perfeitamente sobrepostas. A métrica usada na definição do erro refrativo é em dioptrias e varia de -10D a +8D.

Em conjunto, os dois equipamentos portáteis funcionam segundo o princípio de Scheiner. [16] Após todas as operações e através de um algoritmo próprio do *EyeQue™* é apresentado o resultado final.

Segundo um estudo apresentado pela empresa que desenvolveu o equipamento, o *EyeQue™* comparativamente com um AR de campo fechado obteve, na maioria dos pacientes, acuidades visuais iguais ou superiores com as medidas obtidas em cada um dos equipamentos, contudo assume a importância da verificação da saúde ocular e de problemas de visão binocular ou de foro acomodativo que não estão contemplados nas funções do equipamento. [17]

1.4 Aberrometria

A aberração do olho humano é obtida através de duas frentes de onda distintas, a do sistema ótico em análise e uma teoricamente perfeita. [18] Estas imperfeições nos componentes oculares podem afetar a trajetória dos raios luminosos originando imagens com menor qualidade e maior distorção. Os aberrómetros são ótimas ferramentas para a medida do erro refrativo. [19]

De maneira a entender melhor a importância das várias aberrações do sistema ótico humano tem-se desenvolvido ao longo do tempo vários estudos que procuram determinar a influência das mesmas na performance visual. [20,21]

Os resultados das medidas de aberrometria podem ser afetados por diversos fatores, tais como o diâmetro pupilar – que varia conforme a idade – e são expressos pelos Polinómios de Zernike. É importante analisar também a influência de alguns aspetos, tais como a acomodação e as alterações provocadas no cristalino pela mesma. [22,23]

No que diz respeito às diferentes formas de aberrações são designados dois grupos conforme a complexidade das mesmas. As aberrações de baixa ordem – esféricas, cilíndricas, nomeadamente ametropias e astigmatismo quando regular. Para além destas, há ainda outras formas mais complexas que fazem parte dos polinómios de Zernike – aberrações de alta ordem. Segundo Lawless & Hodge, 90% do total de aberrações de um olho normal são aberrações de baixa ordem, sendo que as de alta ordem constituem os restantes 10%. [24]

A aberrometria por frente de onda de Shack-Hartman pode fornecer uma vasta descrição das aberrações óticas do olho humano e exibir as mesmas na forma de um mapa de aberrações que descreve a variação no comprimento do caminho ótico (OPL) da frente de onda até à imagem formada na retina através de cada ponto da pupila. Com a informação adquirida pode-se calcular a imagem na retina recorrendo a teorias da ótica física para a determinação do estado refrativo do olho. [25]

Uma variedade de métodos já foram propostos para se quantificar a qualidade ótica de um olho, com bases nas análises das aberrações da frente de onda, podendo ser a partir

da (i) análise da qualidade da imagem da retina ou através de (ii) métricas no plano da pupila. [26]

Recorrendo ao primeiro método apresentado, a qualidade da imagem na retina é calculada com base na função de propagação de ponto (PSF) ou através da transformação de Fourier, a função de transferência ótica (OTF). [25, 27]

A maioria dos aberrómetros comerciais permite o cálculo da refração objetiva através da prescrição de lentes de correção baseada na expansão dos polinómios do mapa de aberrações de Zernike fornecidos. Podem ser utilizados critérios diferentes para a partir dessas expansões se calcular a refração dos dados da frente de onda. Um deles, a refração de Zernike, tem em consideração a vergência de uma fonte pontual que resulta num “disco de menor confusão” no plano da imagem, definido pela camada retiniana onde o feixe do aberrómetro é refletido. A prescrição das lentes de correção é calculada com base na suposição que o coeficiente c_2^0 corresponda ao valor do equivalente esférico, M , e os coeficientes c_2^2 e c_2^{-2} às componentes vetoriais do astigmatismo de potências J0 e J45, respetivamente. Contudo, o olho humano apresenta aberrações de alta ordem (HOA) cujos valores não podem ser desprezados. Outro método para a determinação da prescrição é a refração paraxial. No segundo caso, os coeficientes de Zernike são expandidos para ordens mais altas o que equivale a calcular a vergência de uma fonte pontual que foca raios paraxiais no plano de reflexão do feixe do aberrómetro. [27-29]

Desprezando as HOA, as duas métricas anteriores seriam idênticas, contudo este não será o caso do olho humano.

Em suma, a principal diferença está na elevada influência das HOA na refração de Zernike ao passo que a refração paraxial é insensível às mesmas. Nenhuma das hipóteses apresenta robustez suficiente para se obter uma estimativa não refinada da refração. [30]

Para além das métricas do plano pupilar, pode-se considerar ainda a métrica do plano de imagem – Relação visual de Strehl. Quando as HOA apresentam valores significativos, a relação visual de Strehl computada no domínio da frequência (VSMTF) é menos enviesada pelos níveis mais altos de aberração esférica. [26] É necessário ter em conta que frequências diferentes correspondem de forma distinta ao desfocado e à sensibilidade neural. Esta estimativa teórica da qualidade de imagem pode ser calculada

através de *softwares* baseados no cálculo matemático, com resultados que relacionam o contraste e a resolução da imagem. Os dados adquiridos no tratamento da métrica estão intimamente relacionados com a acuidade visual. Assim, uma mudança de 0,22 na relação logarítmica de Strehl implica, em média, uma alteração de 0,1 logMAR (uma linha no quadro de Snellen), clinicamente significativa, na acuidade visual. [26, 31]

2. HIPÓTESES E OBJETIVOS DO ESTUDO

2.1 Formulação do problema

A avaliação clínica do estado refrativo de um paciente não depende meramente da melhor combinação de lentes esfero-cilíndricas que provoquem uma melhoria na qualidade visual do mesmo, mas garantem uma parte fundamental deste processo. Em conformidade com os avanços registados ao longo dos últimos tempos relacionados com a necessidade de replicar de forma objetiva o critério subjetivo de cada sujeito, a hipótese de trabalho foca-se na relação entre a aplicação do *EyeQue*TM na determinação da refração da mesma forma que o AR de campo aberto e o aberrómetro.

2.2 Objetivos do estudo

Os objetivos principais do estudo foram a comparação dos valores de refração obtidos através da utilização do *EyeQue*TM com os do AR de campo aberto e posteriormente, através dos conhecimentos sobre as aberrações de cada olho, estimar a métrica de medida, em função do diâmetro pupilar, que mais se assemelha à técnica inicialmente utilizada no trabalho.

Deste modo, seguem-se os objetivos identificados para o presente trabalho de investigação:

- Estudar as diferenças na refração obtidas através dos dois equipamentos de medida de refração objetiva, o *EyeQue*TM e o AR de campo aberto.
- Avaliar o padrão de refração obtido através da aberrometria.
- Relacionar os valores das medidas do estado refrativo mediante os três equipamentos.
- Avaliar a repetibilidade das medidas do estado refrativo obtidas através do *EyeQue*TM.
- Avaliar a viabilidade da primeira técnica de medida da refração objetiva.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Tipo/Desenho do estudo

De forma a validar um novo método de medida de refração objetiva foi inicialmente feito um estudo experimental com o objetivo de estudar os valores de refração obtidos através do equipamento *EyeQue PVT™* com os do AR de campo aberto sem controlo da acomodação.

Através dos conhecimentos adquiridos e do estado de arte, estimou-se, posteriormente, a métrica de medida do estado refrativo em função do diâmetro pupilar de cada sujeito, visto ser a técnica que mais se assemelha à do equipamento em estudo.

3.2 População em estudo e tamanho da amostra

Para a determinação do tamanho da amostra necessária para o estudo recorreu-se ao calculador de tamanho de amostras de Harvard (http://hedwig.mgh.harvard.edu/sample_size/js/js_crossover_quant.html). O número de sujeitos necessários calculado foi de 18, para um nível de significância de 0.05, com um desvio-padrão de 0,25, sendo que se pretendeu a garantia de uma potência de 80%, dado a comparação dependente de médias do erro refrativo.

Atendendo ao tamanho da amostra foram recrutados 30 sujeitos, estudantes universitários que frequentavam a Universidade do Minho. Durante a participação de cada um foram explicados os métodos e os objetivos do estudo e tidas em conta as diretrizes presentes na Declaração de Helsínquia, isto é, cada um dos participantes assinou um termo de consentimento informado.

Para a recolha dos dados necessários ao estudo foram utilizados instrumentos que se encontravam disponíveis no CEORLAB – Clinical & Experimental Optometry Research Lab na Escola de Ciências da Universidade do Minho, bem como o *EyeQue PVT™* e o *smartphone* adquiridos pelo aluno mestrando que realizava o estudo. Registaram-se os valores de refração objetiva dos três equipamentos em estudo, de ambos

os olhos de 30 pacientes (5 do sexo masculino e 25 do sexo feminino, 60 olhos) com idades compreendidas entre os 18 e os 24 anos e que cumpriam os critérios de inclusão determinados para o estudo.

Dado o número reduzido de sujeitos, apenas 3, em estudo atribuídos ao grupo “hipermétropes” optou-se pela não criação de um terceiro grupo estatístico aquando da análise estatística que avaliava os resultados tendo em conta o grupo refrativo associado.

3.3 Critérios de inclusão

A inclusão no estudo requeria que os candidatos sujeitos ao estudo não sofressem de qualquer tipo de alteração corneal, não padecessem de nenhuma patologia ocular crónica ou no momento da avaliação, estivessem na condição de estudante universitário ou com idade inferior a 25 anos.

3.4 Procedimento experimental

3.4.1 Parâmetros estudados

Para a análise posterior e, considerando os objetivos do estudo, foram registados dados como a idade e o género dos sujeitos e os valores adquiridos nas medidas objetivas de refração (esfera (valor quantitativo), cilindro (valor qualitativo) no caso do *EyeQue PVT™* e esfera, cilindro e eixo com o AR de campo aberto), na aberrometria e o valor do diâmetro pupilar.

3.4.2 *EyeQue Personal Vision Tracker™*

O dispositivo móvel *EyeQue™*, designado de Personal Vision Tracker, é constituído por uma pequena ocular, semelhante a um telescópio de pequenas dimensões, que, em conjunto com o ecrã do *smartphone* e a assim a interface entre os dois permite delimitar o campo de visão à zona de interesse do teste por defeito na aplicação *myEyeQue*.



Figura 3.1 - *EyeQue™* acoplado ao smartphone

Através de duas ranhuras opostas no telescópio são projetadas, em diferentes zonas da retina, duas linhas com cores verde e vermelho. O utilizador ajusta a distância entre as duas linhas através de controlos até as sobreporem e se formar uma só linha, desta vez amarela.

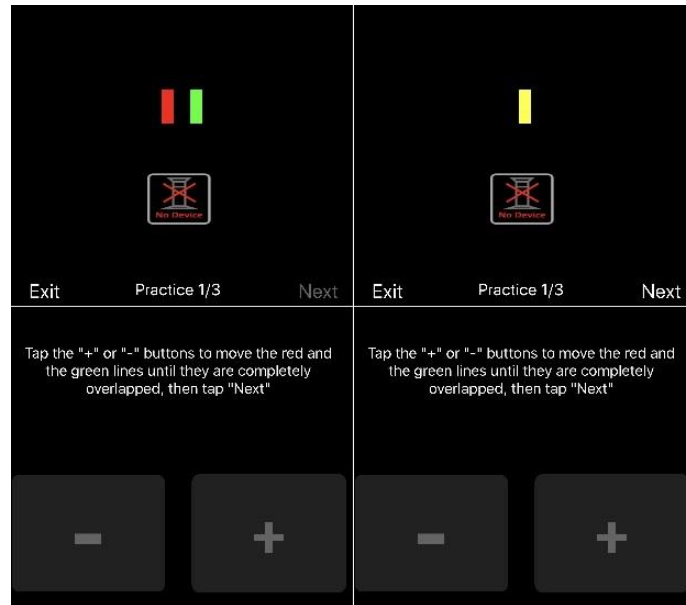


Figura 3.2 – Captura do ecrã do *smartphone* durante a demonstração de teste sobre o procedimento do EyeQue™

O procedimento anterior é repetido para diferentes orientações, desta forma, a vergência com que os raios luminosos chegam à retina é proporcional à inclinação necessária para estes passarem pelos orifícios da barreira na ocular. O valor do erro refrativo corresponde à magnitude do ajuste entre as duas linhas e o astigmatismo é avaliado nos diferentes meridianos.



Figura 3.3 - O sistema de medição do erro refrativo.

Ao mover as duas linhas, a vermelha e a verde, em direções opostas, de maneira a sobrepor as mesmas, através dos comandos (+) e (-) é calculado o erro refrativo. (Figuras 3.2 e 3.3) O microscópio tem nove posições diferentes cuja imagem se obtém após a rotação da parte superior do equipamento desde a posição 1 até à 9, com a qual se vai alterando a orientação das ranhuras da ocular. (Figura 3.4)

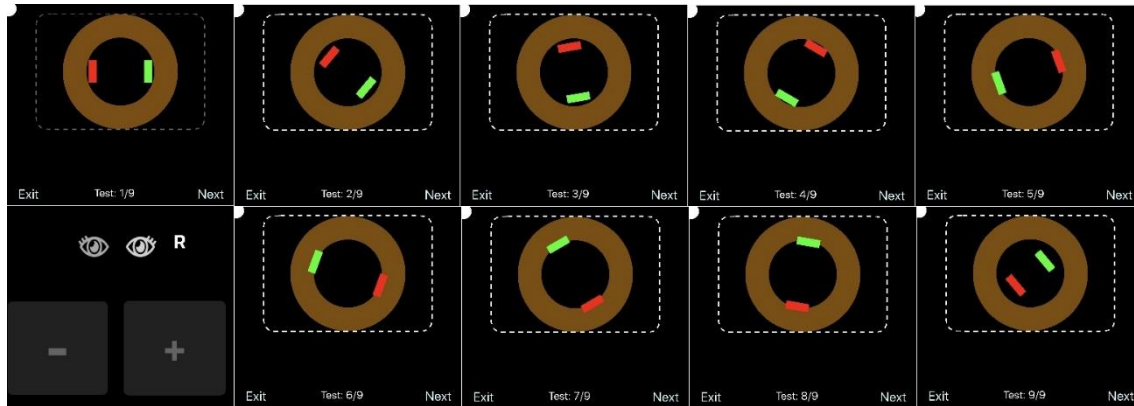


Figura 3.4 – Imagens das capturas de ecrã através do *EyeQue*TM nas diferentes posições de medida do erro refrativo.

Os resultados apresentados na aplicação cingem-se apenas à prescrição ótica, sem qualquer avaliação do estado binocular da visão do paciente. A correção é prescrita com base nas diferentes tarefas propostas para cada olho pela *myEyeQue* (Figura 3.5) e deverá assim resultar numa graduação confortável para o sujeito.



Figura 3.5 - Apresentação da prescrição na aplicação.

3.4.3 Autorrefração

Durante a realização do estudo foi utilizado um equipamento de campo aberto, o Grand Seiko AutoRef/Ker WAM-5500 (Grand Seiko Co., Ltd., Hiroshima, Japan – Figura 3.6), sendo que o mesmo proporciona uma visão binocular para um ponto distante onde o paciente fixa o seu olhar.



Figura 3.6 - Autorrefratómetro/Queratómetro WAM5500.

O paciente sujeito à avaliação sentava-se imóvel e com o queixo pousado na mentoneira do aparelho, devidamente ajustada. A medida do estado refrativo foi obtida em apenas uma condição: sem cicloplegia em ambos os olhos, em posição central e fixa do olhar para visão de longe. Foram registadas cinco leituras independentes para cada olho. O objetivo da utilização foi a medida da refração objetiva – esfera, cilindro e eixo.

3.4.4 Aberrometria

O mapa de aberrações de cada participante no estudo foi recolhido através do aberrómetro IRX3 (Imagine Eyes, França – Figura 3.7), acoplado a um computador fornecido com o devido *software* de aquisição dos dados.

Cada sujeito seguiu as recomendações para a recolha dos dados: sentado em posição ereta. Foram recolhidas três medidas em cada olho - monocularmente, em condição escotópica. O paciente olhava para um “E” projetado no interior do aparelho e a recolha era efetuada após um pestanejo e com o olho bem aberto.



Figura 3.7 - Aberrómetro IRIX3 acoplado a um computador.

3.5 Análise estatística

O programa estatístico SPSS, versão 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) foi utilizado para a análise de resultados. Os dados obtidos são apresentados em termos de média±desvio padrão, os valores máximos e mínimos.

Para avaliar as diferenças entre os instrumentos utilizados foi utilizado o teste Kruskal-Wallis, O teste T-test de amostras emparelhadas e o Wilcoxon foram usados para comparar as diferenças nos grupos refrativos entre o *EyeQue*TM e as outras técnicas, o que permitiu concluir se existiam diferenças estatisticamente significativas.

Para a análise estatística entre médias do erro refrativo a conversão vetorial da refração foi utilizada de acordo com a sugestão de Thibos *et al.* [32]:

$$M = \text{Esf} + \text{Cil}/2$$

$$J0 = -\text{Cil} \cdot \cos(2 \alpha)/2$$

$$J45 = -\text{Cil} \cdot \sin(2 \alpha)/2$$

onde, *Esf*, *Cil*, e α são a esfera, o cilindro e o eixo, respetivamente da refração objetiva obtida através dos instrumentos utilizados. A variável *M* representa o equivalente esférico da refração. *J0* descreve o componente vetorial do astigmatismo no meridiano horizontal – representa-se em valores positivos para astigmatismos à regra e valores

negativos para astigmatismo contra a regra. A componente vetorial do astigmatismo oblíquo é representado por $J45$ – para astigmatismo com o eixo negativo a cerca de 45° representa-se com valores positivos; para astigmatismos com o eixo negativo próximo dos 135° representa-se com valores negativos. [32]

Para avaliar a normalidade da distribuição dos dados foi realizado o teste Kolmogorov-Smirnov Test. Os testes ANOVA e Kruskal-Wallis foram aplicados para determinar as diferenças existentes entre o *EyeQue*TM e os instrumentos (Grand Seiko e métricas obtidas com o aberrómetro) no estudo das componentes refrativas. Para as comparações múltiplas, os valores da significância estatística foram ajustados usando o teste Bonferroni post-hoc test. Os testes Paired Samples T-test (test T de Student) e Wilcoxon Signed Ranks foram usados para comparar as diferenças em cada grupo refrativo (miópes e emetropes), separadamente, para as variáveis com distribuição normal ou não normal, respetivamente.

As correlações foram realizadas pelo teste de Pearson caso as variáveis apresentassem uma distribuição normal e no caso contrário a correlação de Spearman. As correlações foram consideradas fortes se maiores do que 0,800, moderadamente fortes se estavam entre 0,500 e 0,800, razoável entre 0,300 e 0,500 e fracas se eram menores do que 0,300.

Com o objetivo de analisar as discrepâncias entre os valores obtidos individualmente da refração, para a componente M , entre o *EyeQue*TM e os equipamentos (Grand Seiko e métricas obtidas com o aberrómetro) foram desenhados os gráficos de Bland and Altman, onde se observam os limites de concordância de 95% das medidas (média da diferença $\pm 1,96$ da diferença dos desvio padrão). [33]

Para fins estatísticos, foi considerado estatisticamente significativo um valor de p menor que 0,050.

4. RESULTADOS

4.1 Descritivos

Neste estudo participaram 30 sujeitos, 25 mulheres e 5 homens, tendo sido recolhidos dados de ambos os olhos. As características da amostra recolhida são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Dados demográficos da amostra (expressos em média±DP, mínimos e máximos)

Parâmetro	Descrição
n	60 olhos
Sexo	Feminino 50 (83,3%) Masculino 10 (16,7%)
Idade (anos)	20,47±1,74 ; [18 a 24]

A partir da figura 4.1 verifica-se uma menor diferença para a componente vetorial da refração J45 com os valores médios para os diferentes métodos de medida muito próximos das zero dioptrias.

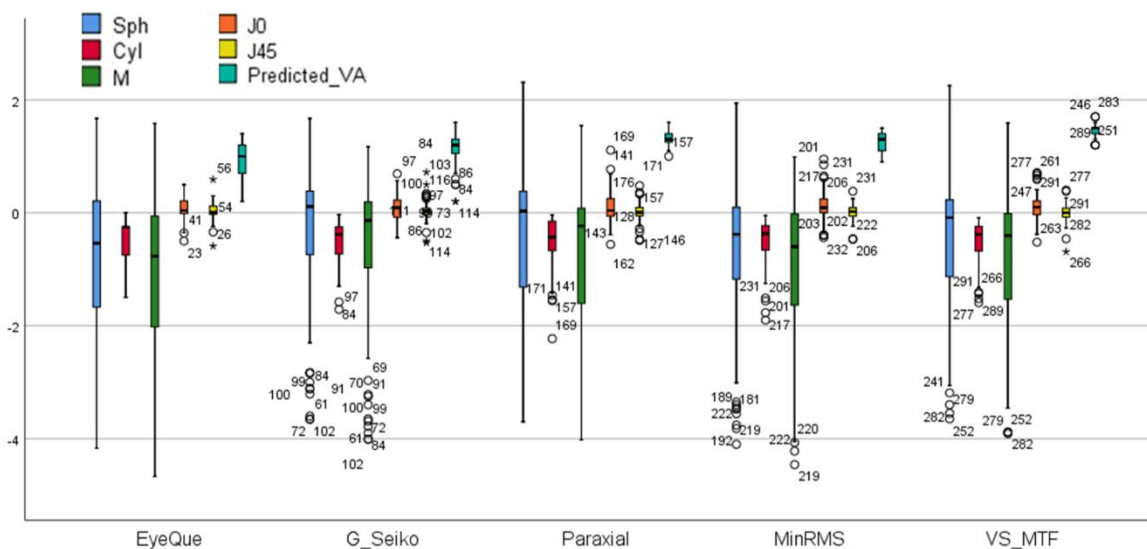


Figura 4.1 - Valores médios do termo de erro refrativo (em dioptrias) obtidos através dos equipamentos utilizados e do cálculo da conversão vetorial da refração.

A análise da tabela 2 permite comparar os valores obtidos para cada um dos métodos de medida da refração objetiva e mostra que apenas na previsão da acuidade visual os valores são estatisticamente significativos, comparando o instrumento a validar com qualquer um dos outros métodos.

Os resultados médios obtidos para cada uma das variáveis com a recolha de todas as métricas de medida do estado refrativo não se revelaram estatisticamente significativos, com exceção para o preditor da AV ($p < 0,001$).

Da análise do erro refrativo encontraram-se valores médios semelhantes entre todos os equipamentos utilizados. Com o *EyeQue*TM o valor da esfera calculado foi de $-0,70 \pm 1,36$ e que este valor médio tendia a ser menos negativo no caso dos outros dois instrumentos, com exceção da função minRMS em que a diferença com o primeiro equipamento é de 0,04D. Analisando a variável do equivalente esférico, M, verifica-se que a refração de Zernike apresenta o valor médio mais negativo obtido, $-1,00 \pm 1,47$. O menor valor obtido para a variável M encontra-se na refração Paraxial. Entre as duas medidas máxima e mínima observamos diferenças clinicamente significativas, chegando a ser ligeiramente superior a 0,25D.

Analisando as duas componentes vetoriais do astigmatismo, J0 e J45, apenas se verificam valores médios positivos.

Para a componente vetorial do meridiano horizontal detém-se o maior valor obtido na refração de Zernike e o menor para os dois primeiros equipamentos apresentados, sendo estes o *EyeQue*TM e o Grand Seiko. Para os valores mínimos não se verificam diferenças clinicamente significativas, contudo, analisando os valores máximos, verificam-se diferenças superiores a 0,50D, dado este clinicamente significativo.

A componente vetorial oblíqua do astigmatismo apresenta valores médios muito semelhantes com diferenças inferiores a 0,05D. Para os valores mínimos e máximos desta variável verifica-se que entre os mínimos não se encontram diferenças clinicamente significativas, porém, da análise aos valores máximos verificam-se diferenças superiores a 0,25D, com relevância a nível clínico.

As disparidades encontradas entre os valores mínimos e máximos refletem-se nos outliers da figura 4.1.

Tabela 2 – Dados recolhidos (expressos em média±DP e valores mínimo e máximo) de medidas do estado refrativo a partir dos equipamentos utilizados no estudo para os 60 olhos.

	<i>EyeQue</i> TM	G_Seiko	Paraxial	MinRMS	VS_MTF	p	Bonferroni
Esfera	-0,70±1,36	-0,50±1,43	-0,46±1,41	-0,74±1,46	-0,56±1,40	0,236	X
	-4,17 / 1,67	-3,66 / 1,67	-3,70 / 2,31	-4,10 / 1,94	-3,65 / 2,25		
Cil	-0,43±0,35	-0,51±0,38	-0,53±0,47	-0,52±0,42	-0,51±0,38	0,766	X
	-1,50 / 0,00	-1,71 / -0,03	-2,23 / -0,04	-1,90 / -0,05	-1,59 / -0,09		
M	-0,92±1,41	-0,76±1,48	-0,73±1,41	-1,00±1,47	-0,81±1,39	0,305	X
	-4,67 / 1,58	-4,01 / 1,17	-4,02 / 1,54	-4,46 / 0,99	-3,91 / 1,59		
J0	0,07±0,21	0,07±0,24	0,10±0,30	0,13±0,27	0,10±0,25	0,708	X
	-0,50 / 0,50	-0,44 / 0,69	-0,56 / 1,11	-0,44 / 0,95	-0,52 / 0,71		
J45	0,04±0,16	0,04±0,19	0,01±0,17	0,01±0,14	0,00±0,18	0,619	X
	-0,59 / 0,59	-0,53 / 0,72	-0,49 / 0,48	-0,47 / 0,38	-0,69 / 0,40		
AV_ preditor	0,94±0,30	1,12±0,28	1,33±0,12	1,25±0,16	1,45±0,11	<0,001	1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 2-3, 2-4, 2-5, 3-5, 4-5
	0,20 / 1,40	0,20 / 1,60	1,00 / 1,60	0,90 / 1,50	1,20 / 1,70		

Para uma melhor visualização das diferenças que podem ser calculadas entre os três instrumentos foram desenhados os gráficos de Bland-Altman (figura 4.2) onde observamos a comparação dos valores obtidos para a refração objetiva entre o *EyeQue*TM e as restantes métricas descritas tanto pelo autorrefratómetro como pelo aberrómetro.

Considerando que 0,25D seja o erro admissível, os intervalos de confiança em que se encontram as medidas são muito grandes. Os limites de concordância no caso da comparação entre o *EyeQue*TM e o autorrefratómetro estão entre 1,84D e -2,16D, assim, 95% dos resultados devem constar neste intervalo. A análise conclui que a comparação entre as duas técnicas de medida é a que apresenta um menor intervalo entre os limites de concordância positivo e negativo.

Analisando a parte B da figura 4.2 encontra-se o maior intervalo de confiança, com os limites de concordância a situarem-se em 2,11D e -2,48D. O valor médio calculado é o mais negativo (-0,19D).

Para o caso da comparação entre o equipamento a validar e a refração de Zernike, 95% dos registos devem situar-se entre 2,37D e -2,20D, sendo que o valor médio é o

único positivo (0,08D), indicando que o *EyeQue*TM apresenta, em média, valores ligeiramente mais positivos que a métrica em comparação.

Para o último caso comparativo apresentado pela representação gráfica de Bland-Altman, denota-se um intervalo de confiança de 4,47D, com o limite de concordância negativo de -2,34D e o positivo de 2,13D. Assim, mais uma vez e tal como a situação A e B apresentadas, o valor médio entre as duas métricas é negativo e tem o valor de -0,11D.

A análise das diferenças entre o *EyeQue*TM e a autorrefratometria mostra que dos 60 olhos em estudo, 56 se encontram dentro do intervalo de concordância (95%). Com um desvio-padrão calculado de 1,02, 43 olhos encontram-se dentro do intervalo do mesmo. Quando fazemos a mesma análise para os valores obtidos nas três métricas calculadas através dos resultados do aberrómetro verificamos que 57 olhos se encontram dentro dos intervalos de concordância (95%). No caso da comparação entre o *EyeQue*TM e a refração de Zernike encontramos a média positiva (0,08) da diferença entre os dois sendo a melhor semelhança, todavia o desvio padrão é o mais alto em comparação com os restantes.

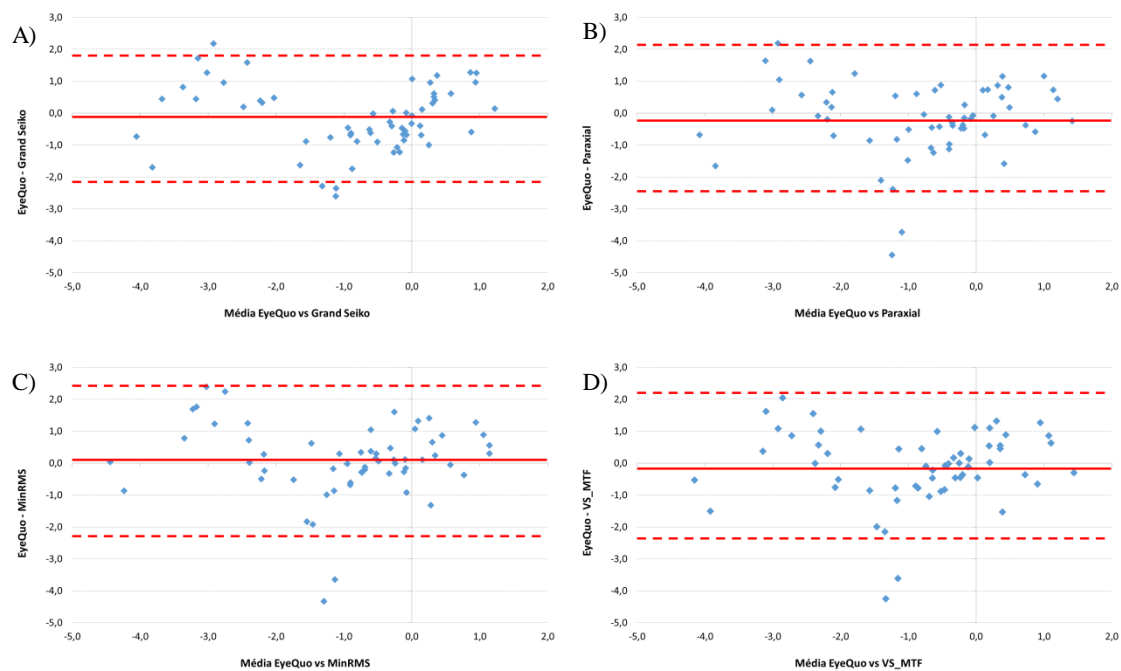


Figura 4.2 – Gráficos de Bland-Altman para a comparação dos valores médios obtidos entre: A) *EyeQue*TM e o autorrefratómetro, B) *EyeQue*TM e Refração paraxial, C) *EyeQue*TM e Refração de Zernike e D) *EyeQue* e Relação Visual de Strehl.

A figura 4.3 exibe os resultados dos cálculos para quantificar a qualidade ótica de um olho baseando-se na análise das métricas em estudo.

A relação VSMTF apresenta um significado duplo, primeiramente, a intensidade de pico do PSF e depois o volume sob a MTF. Grosso modo, o volume é proporcional tanto à área coberta pelo eixo da frequência (resolução) quanto à altura média (contraste). Assim, verifica-se a qualidade do compromisso entre a qualidade de contraste e de resolução da imagem, que quando elevados para a frequência espacial são mais importantes para o olho humano.

Apresentam-se dois casos distintos, no primeiro (figura 4.3) verifica-se que a qualidade das imagens é superior ao segundo caso (figura 4.4), contudo, verificaram-se diferenças clinicamente significativas em todos os sujeitos em estudo (representações gráficas disponíveis em anexo no capítulo 8), verificando-se a ocorrência de variações na acuidade visual superiores a 0,1 logMAR.

Tabela 3 – Medidas do estado refrativo de dois olhos direitos em estudo através de todas as métricas apresentadas no mesmo.

ID	OD FF	OD SL
Diâmetro pupilar	6 mm	7,8 mm
<i>EyeQue</i> TM RX	+0,08 -0,25 x 16°	-4,17 -0,50 x 18°
Grand Seiko RX	+0,15 -0,22 x 16°	-3,21 -0,96 x 18°
Paraxial RX	-0,21 -0,17 x 20°	-3,41 -0,66 x 30°
minRMS RX	+0,05 -0,42 x 0°	-4,10 -0,73 x 9°
VSMTF RX	+0,02 -0,39 x 2°	-3,55 -0,68 x 20°

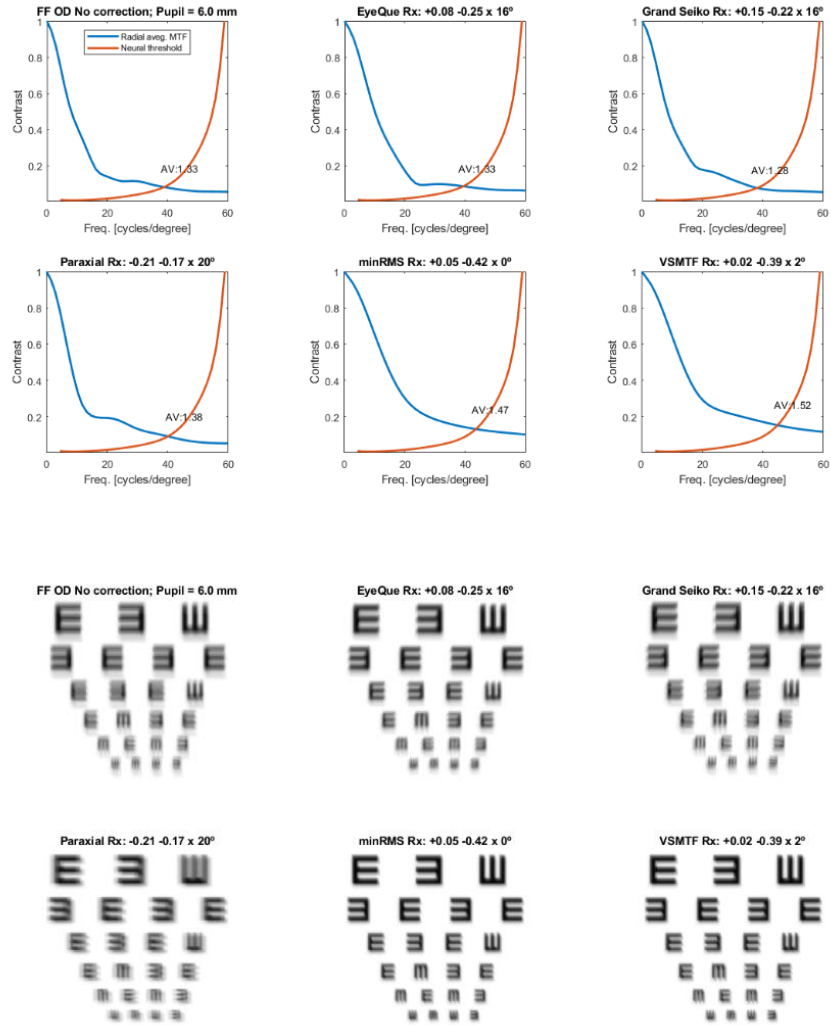


Figura 4.3 - Quantificação da qualidade ótica, acuidade visual estimada, de um olho direito com um erro refrativo baixo baseado em análises por um *software* das métricas de medida direta da refração objetiva e das aberrações da frente de onda obtidas pelo aberrómetro.

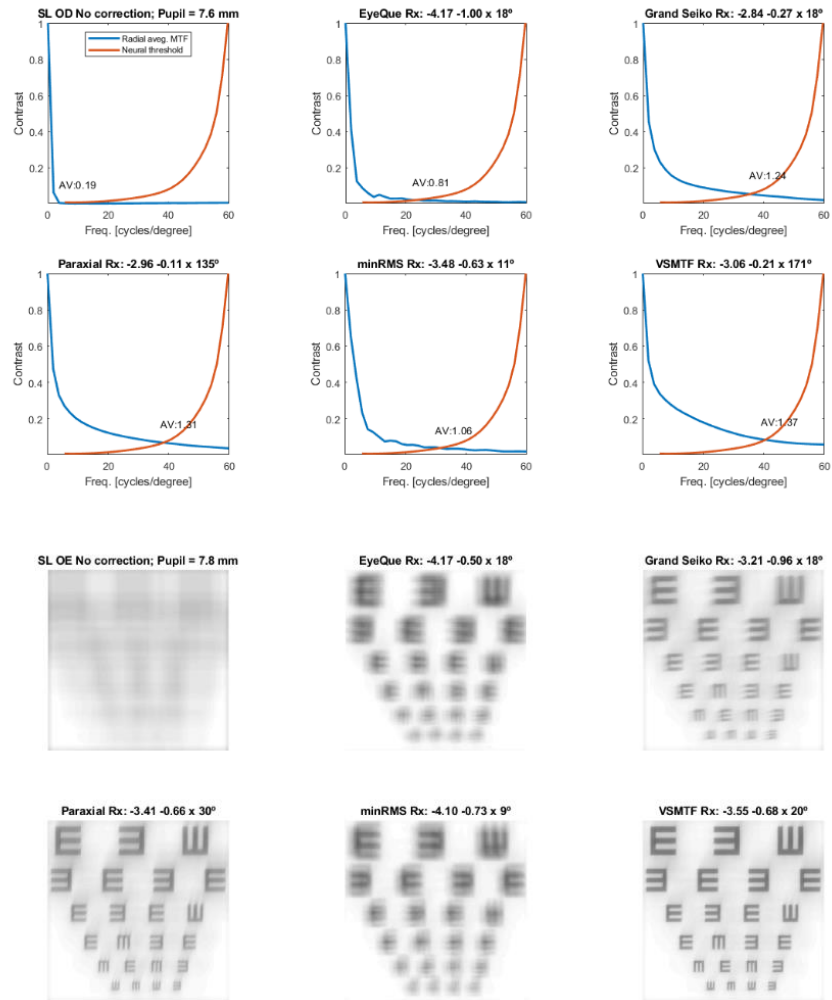


Figura 4.4 – Quantificação da qualidade ótica, acuidade visual estimada, de um olho direito com um erro refrativo mais elevado baseado em análises por um *software* das métricas de medida direta da refração objetiva e das aberrações da frente de onda obtidas pelo aberrómetro.

4.2 Repetibilidade do valor da esfera com o *EyeQue*TM

Para avaliar a repetibilidade do *EyeQue PVT*TM foram recolhidos durante dez dias os dados medidos com o mesmo equipamento por dois pacientes. A recolha foi feita sempre pela manhã durante todos os dias. Apenas foram tidos em consideração os valores da esfera medidos pelo equipamento.

Tabela 4 – Dados da amostra para o estudo da repetibilidade

Parâmetro	Descrição	
n	4 olhos	
Sexo	Feminino 1 (50%)	LL, 24 anos
	Masculino 1 (50%)	VP, 23 anos

Da análise dos valores recolhidos e atendendo às figuras 4.5 e 4.6 podemos verificar que no caso do sujeito míope o desvio-padrão é globalmente maior tanto para o olho direito como para o esquerdo quando comparado com o sujeito emetrope.

Observam-se diferenças clinicamente significativas entre as medidas realizadas ao mesmo sujeito, sendo por vezes superiores a 0,25D.

No caso do sujeito míope a refração à data do estudo era de -7,50D e -6,50D para os olhos direito e esquerdo, respetivamente. Considerando a média das dez medidas para o caso do olho direito (-6,32±0,32 D) verifica-se que é ligeiramente mais positiva e portanto clinicamente significativa. No caso do olho contralateral a média -6,48±0,41 D é similar à atual refração. No entanto a dispersão dos valores registados é alta para ambos os olhos, encontrando-se diferenças nos registos iguais ou superiores a 1D.

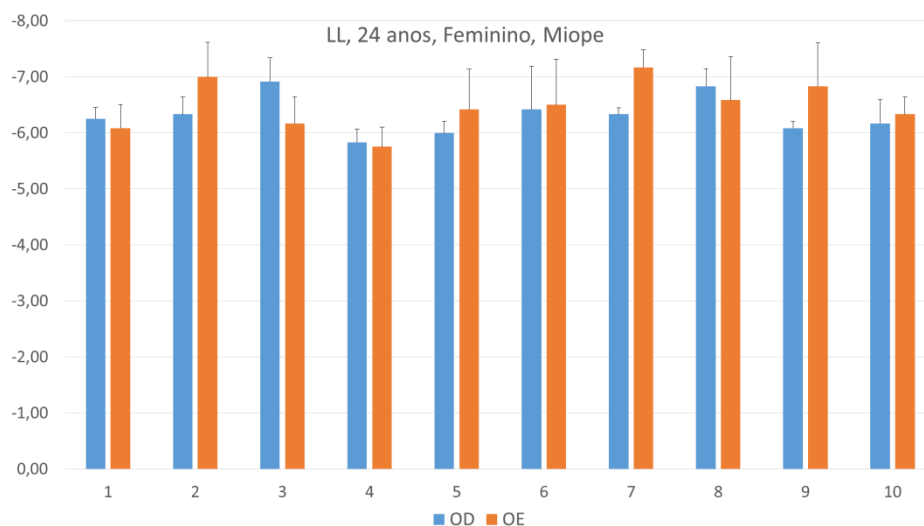


Figura 4.5 – Valores médios das medidas recolhidas do valor da esfera do OD (barra azul) e do OE (barra laranja) durante dez dias e respetivos desvio-padrão do paciente míope.

Da análise da figura 4.6 verificam-se diferenças clinicamente significativas para ambos os olhos do paciente, com diferenças superiores a 0,25D. A refração esférica do sujeito à data da recolha dos dados apresentados apresentava valores de 0,50D tanto para o olho direito como para o esquerdo e comparando com as médias das medidas são muito semelhantes, sendo que para o olho direito a média das medidas é de $0,33\pm 0,29$ D e para o olho esquerdo de $0,58\pm 0,16$ D. Tal como no caso do paciente míope a dispersão dos valores das medidas é alta, contudo não atinge um valor igual ou maior que 1D.

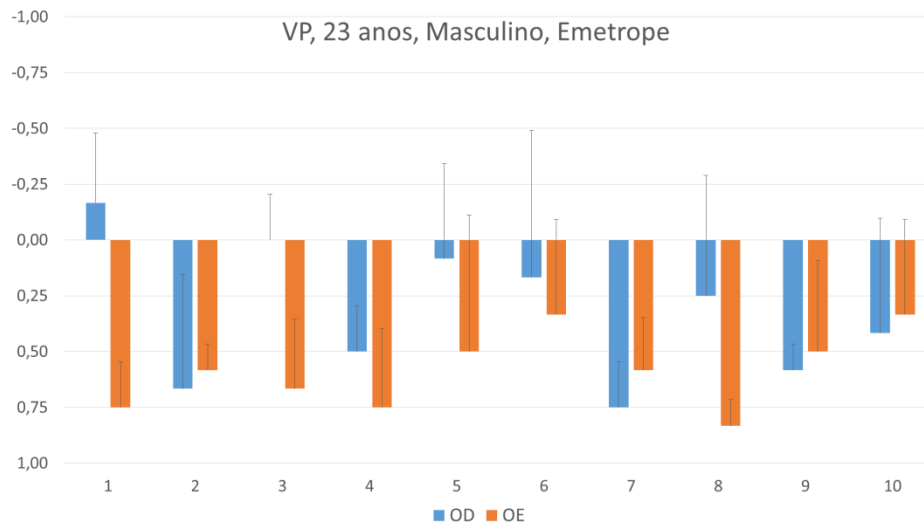


Figura 4.6 – Valores médios das medidas recolhidas do valor da esfera do OD (barra azul) e do OE (barra laranja) durante dez dias e respetivos desvio-padrão do paciente emetrope.

4.3 Por grupos refrativos

A análise estatística neste ponto é apresentada de forma a determinar se a variação entre os diferentes grupos refrativos é ou não estatisticamente significativa.

Na tabela 5 são apresentados os dados da amostra divididos pelos grupos refrativos considerados durante a análise do estudo. Na segunda tabela apresentada (tabela 6) apresentam-se os resultados obtidos das diferenças, desvio-padrão respetivo e a significância estatística para cada um dos equipamentos e métricas consideradas no presente estudo.

Às variáveis apresentadas na tabela 6 e que não cumprem com os pressupostos da normalidade das distribuições foi aplicado o teste de Wilcoxon, assinalando as mesmas com o símbolo asterisco (*), ao passo que nas restantes aplicou-se o teste de amostras emparelhadas, sendo que estas foram assinaladas com o sinal mais (+).

No caso dos resultados cujas variações são estatisticamente significativas estes são apresentados na mesma tabela referida no parágrafo anterior a negrito.

Tabela 5 – Dados da amostra no estudo por grupos refrativos

Parâmetro	Descrição
n	57 olhos
Grupo refrativo	Míopes 22
	Emetropes 35

(Dado o número reduzido de sujeitos, apenas 3, em estudo atribuídos ao grupo “hipermétropes” optou-se pela não criação de um terceiro grupo estatístico.)

Avaliando os resultados das diferenças para cada uma das métricas entre o *EyeQue*TM e cada um dos respetivos equipamentos utilizados no estudo, verifica-se que o parâmetro Cilindro não apresenta diferenças estatisticamente significativas para nenhum dos grupos refrativos. O menor valor de diferença encontrado para a variável “Cilindro” verifica-se no grupo dos emetropes na diferença calculado com o WAM-5500, $0,03 \pm 0,33D$, e o máximo de $0,17 \pm 0,48D$ para o grupo dos míopes.

Tabela 6 – Tabela das diferenças do *EyeQue*TM com os restantes equipamentos em estudo para os diferentes grupos refrativos.

<i>EyeQue</i> TM - x		<i>EyeQue</i> TM	dif GS	dif Paraxial	dif MinRMS	dif VS_MTF
Esfera	Mio	-1,90±1,13	0,12±0,94 0,581*	-0,21±1,50 0,525+	0,10±1,57 0,760	-0,12±1,48 0,719
	Eme	-0,09±0,92	-0,37±0,97 0,030+	-0,24±0,84 0,105+	0,04±0,77 0,744+	-0,13±0,80 0,337+
Cilindro	Mio	-0,45±0,30	0,17±0,48 0,123*	0,08±0,46 0,372*	0,06±0,39 0,590*	0,05±0,39 0,455*
	Eme	-0,38±0,37	0,03±0,33 0,644*	0,05±0,42 0,538*	0,05±0,34 0,385*	0,06±0,39 0,313*
M	Mio	-2,13±1,15	0,20±1,05 0,445*	-0,17±1,61 0,635+	0,13±1,67 0,711+	-0,09±1,58 0,786+
	Eme	-0,28±1,02	-0,36±0,99 0,040+	-0,21±0,87 0,276*	0,07±0,79 0,604+	-0,10±0,84 0,486+
J0	Mio	0,00±0,22	-0,04±0,17 0,287+	-0,02±0,25 0,701+	-0,10±0,17 0,014+	-0,05±0,19 0,231+
	Eme	0,09±0,18	0,02±0,15 0,375+	0,01±0,22 0,872+	-0,02±0,19 0,566*	0,00±0,19 0,886+
J45	Mio	0,03±0,16	-0,01±0,18 0,925*	0,05±0,19 0,255+	0,04±0,17 0,260+	0,06±0,19 0,179+
	Eme	0,04±0,17	0,01±0,08 0,673*	0,03±0,12 0,241*	0,03±0,13 0,293*	0,04±0,13 0,201*
AVpreditor	Mio	0,77±0,33	-0,32±0,37 0,001*	-0,55±0,35 0,000*	-0,47±0,33 0,000*	-0,66±0,33 0,000*
	Eme	1,03±0,25	-0,09±0,33 0,109*	-0,32±0,27 0,000*	-0,22±0,29 0,000*	-0,43±0,27 0,000*

* Wilcoxon; + Teste de amostras emparelhadas

Como é possível verificar a partir da tabela 6 a componente vetorial do J45 apresenta valores muito semelhantes, em média 0,03 e com desvios-padrão muito semelhantes, não sendo nenhuma das diferenças estatisticamente significativas em nenhum dos grupos refrativos considerados para o estudo.

Para o parâmetro Esfera, a diferença do *EyeQue*TM com o autorrefratómetro utilizado, apresenta um valor mais alto no grupo dos emetropes, $-0,37 \pm 0,97$, verificando-se uma diferença estatisticamente significativa ($p=0,030$, Teste de amostras emparelhadas). No caso dos míopes a diferença já apresenta um valor positivo, não existindo diferença estatisticamente significativa. Para o mesmo parâmetro, as restantes diferenças entre o equipamento a validar e as métricas apresentadas a partir dos valores medidos com o aberrómetro não se apresentam como estatisticamente significativas. As diferenças apresentadas com a refração paraxial apresentam valores negativos em ambos os grupos, ao invés da refração de Zernike que mostrou diferenças positivas para os mesmos.

Os parâmetros M e J_0 , referentes à componente vetorial da refração, apresentam cada um deles uma diferença estatisticamente significativa para apenas um dos grupos refrativos. No primeiro caso, o equivalente esférico, verificam-se valores estatisticamente significativos ($p=0,040$, Teste de amostras emparelhadas) no grupo dos emetropes para a diferença com o WAM-5500, $-0,36\pm 0,99D$. Avaliando o valor da diferença calculado para o grupo dos míopes verifica-se o valor mais positivo ($0,20\pm 1,05D$) encontrado para a variável M . A componente vetorial da refração J_0 apresenta uma diferença estatisticamente significativa para o primeiro grupo refrativo da tabela, o dos míopes e quando comparado com uma das métricas calculadas, neste caso, a refração de Zernike. O valor $-0,10\pm 0,17D$ foi também o valor mais negativo calculado para esta variável.

Relativamente à avaliação da qualidade de imagem, a relação VSMTF, verificam-se diferenças estatisticamente significativas tanto no grupo dos míopes como nos emetropes, demonstrando de forma clara que é o parâmetro mais influenciado com o uso do *EyeQue*TM. No primeiro grupo, as diferenças estatisticamente significativas encontram-se em todos os métodos de medida do estado refrativo e todos os valores calculados são negativos (em média $-0,50D$ e com desvios-padrão semelhantes). Nos emetropes apenas na diferença com o autorrefratômetro, $-0,09\pm 0,33D$, não se encontra um valor estatisticamente significativo ($p=0,109$, Wilcoxon). Embora todos os desvios-padrão apresentem valores muito idênticos, todos os outros resultados calculados se verificam valores negativos superiores a $-0,22D$.

4.4 Por diâmetro pupilar

Neste ponto é tido em conta o diâmetro pupilar e a análise estatística apresentada tem a finalidade de determinar se este é ou não estatisticamente significativo na diferença entre o *EyeQue*TM e as restantes métricas da refração objetiva apresentadas neste estudo. Deste modo, o diâmetro pupilar é dividido pelos 6 mm em dois grupos, o primeiro grupo para os sujeitos com um diâmetro pupilar inferior a 6 mm e o segundo grupo para os restantes.

Na tabela 7 são apresentados os resultados obtidos das diferenças e desvio-padrão, assim como a significância estatística, relativamente aos grupos com diâmetro pupilar inferior a 6 mm e igual ou superior a 6 mm (pupila <6 e pupila ≥ 6). São analisadas as

diferenças entre o instrumento a validar pelo estudo e os restantes métodos de medida da refração objetiva.

Tabela 7 - Tabela das diferenças do *EyeQue*TM com os restantes equipamentos em estudo para os diferentes grupos de diâmetro pupilar.

<i>EyeQue</i> TM - x		<i>EyeQue</i> TM	dif GS	dif Paraxial	dif MinRMS	dif VS_MTF
Esfera	< 6	-0,14±1,11	-0,29±1,00 0,194*	-0,21±0,85 0,325*	0,04±0,85 0,770*	-0,13±0,86 0,581*
	≥ 6	-1,23±1,38	-0,12±0,94 0,491+	-0,27±1,31 0,263+	0,04±1,33 0,883+	-0,17±1,27 0,467
Cilindro	< 6	-0,41±0,33	0,10±0,28 0,087*	0,10±0,42 0,473*	0,13±0,37 0,163*	0,10±0,38 0,202*
	≥ 6	-0,44±0,36	0,07±0,49 0,524*	0,12±0,52 0,189*	0,06±0,41 0,510*	0,07±0,43 0,275*
M	< 6	-0,35±1,17	-0,24±1,00 0,358*	-0,16±0,85 0,545*	0,11±0,85 0,358*	-0,07±0,86 0,900*
	≥ 6	-1,45±1,43	-0,08±1,05 0,663+	-0,21±1,42 0,674*	0,06±1,41 0,810+	-0,13±1,36 0,589
J0	< 6	0,09±0,20	0,00±0,14 0,853+	-0,01±0,24 0,791+	-0,03±0,20 0,371+	-0,01±0,19 0,826
	≥ 6	0,05±0,21	0,00±0,18 0,952+	-0,04±0,25 0,341+	-0,09±0,19 0,015*	-0,06±0,20 0,087
J45	< 6	0,01±0,15	0,00±0,05 0,970*	0,01±0,10 0,367*	0,01±0,11 0,546*	0,02±0,11 0,300*
	≥ 6	0,06±0,18	0,00±0,17 0,780*	0,04±0,18 0,224*	0,04±0,18 0,092*	0,05±0,19 0,134*
Av preditor	< 6	1,03±0,28	-0,12±0,36 0,107*	-0,33±0,29 0,000*	-0,28±0,29 0,000*	-0,47±0,28 0,000*
	≥ 6	0,86±0,31	-0,23±0,35 0,002*	-0,45±0,35 0,000*	-0,33±0,35 0,000*	-0,54±0,34 0,000*

* Wilcoxon; + Teste de amostras emparelhadas

Tendo em conta a tabela 7 observamos que os valores das diferenças variam entre os dois grupos de diâmetro pupilar, é possível também observar a existência de uma grande variabilidade entre os mesmos, independentemente do diâmetro pupilar.

A variável “Esfera” apresenta valores negativos em ambos os grupos em estudo, para o WAM-5500, a refração paraxial e a relação VSMTF, mostrando que os resultados registados pelo *EyeQue*TM são mais miópicos do que os restantes. Exceção para a refração de Zernike que apresenta valores positivos e significâncias estatísticas com valores mais altos. Estas diferenças não são estatisticamente significativas ($p \geq 0,194$).

A análise do astigmatismo revela diferenças com valores positivos para todas as métricas de medida do estado refrativo em estudo e nos dois grupos de diâmetro pupilar, com valores semelhantes e em média de 0,09D. Nenhuma das diferenças é estatisticamente significativa para esta variável.

Relativamente à componente vetorial da refração M verificamos à semelhança da variável “Esfera” que está é positiva para a refração de Zernike e negativa para as restantes métricas, apresentando um valor mais positivo para o grupo com o diâmetro da pupila inferior a 6 mm, $0,11 \pm 0,85D$ e mais negativo com o WAM-5500 para o mesmo grupo pupilar. As diferenças não são estatisticamente significativas. As componentes J0 e J45 apresentam valores muito semelhantes e próximos de zero. Para as duas variáveis e ambos os grupos em análise, o autorrefratómetro apresenta diferenças iguais a zero e com desvios-padrão idênticos e sem significância estatística ($p \geq 0,780$). No que diz respeito à componente J0, os valores de diferença com a refração de Zernike apresentam diferenças estatisticamente significativas ($p=0,015$, Wilcoxon), sendo o resultado da diferença mais negativo para esta componente, $-0,09 \pm 0,19D$.

Analisando a qualidade da imagem, verificamos que esta apresenta diferenças estatisticamente significativas para todas as métricas em estudo e em ambos os grupos de diâmetro pupilar. Todos os valores apresentados na linha “AV Preditor” da tabela são negativos e menores que a diferença encontrada para pupilas menores que 6 mm com a autorrefratómetro, $-0,12 \pm 0,36D$, sendo este o único que não apresenta significância estatística ($p=0,107$, Wilcoxon). Para as métricas estudadas a partir da aberrometria, todos os valores da significância estatística são iguais a zero.

5. DISCUSSÃO

Neste estudo foram comparados os valores de refração objetiva em ambos os olhos de trinta sujeitos, utilizando diferentes métodos de medida, através de um autorrefratômetro de campo aberto, um aberrômetro e um pequeno dispositivo ótico e respetiva aplicação móvel acoplados a um *smartphone*.

Replicar de forma objetiva o critério subjetivo de um indivíduo tornou-se num desafio para a Ciência e é importante avaliar equipamentos que são colocados à disposição da população que são apresentados com esse propósito. Atualmente a refração objetiva é apontada por vários autores como um método amplamente utilizado pelos profissionais da área. [12,13] Com a evolução tecnológica e o número de usuários de *smartphones* a aumentar surgem no mercado produtos que se baseiam no uso de dispositivos móveis e que segundo a Organização Mundial de Saúde preveem melhorar a qualidade de vida e a fomentação de hábitos mais saudáveis.

Jorge *et al.* afirmam que o método de excelência para medidas objetivas de refração é a retinoscopia, no entanto, na maioria dos gabinetes a refração objetiva é estimada apenas através de um autorrefratômetro comercial. [10]

Outros equipamentos de medida do estado refrativo objetiva foram avaliados por outros autores e mostram que os mesmos podem apresentar resultados com bons potenciais para se estimar de forma rápida o erro refrativo de um sujeito.

Queirós *et al.* afirmaram que o valor do erro refrativo quando medido através de um autorrefratômetro de campo aberto, o mesmo utilizado neste estudo, o Grand Seiko WAM 5500, para distâncias de 2,5 metros não apresenta diferenças estatisticamente significativas caso a medida se realizasse sob o efeito de ciclopegia ou sem o mesmo, pelo que se pode auferir que a informação recolhida da refração não apresenta influências significativas da acomodação. [36]

Pamplona *et al.* mostraram que o método de medida implementado no equipamento NETRA® é um bom preditor mas com precisão insuficiente do erro refrativo. Devido a questões que podem estar relacionadas com o controlo da acomodação as versões correntes do equipamento carecem de melhorias a nível da precisão da medida.

[34] O mesmo *software* quando comparado com a retinoscopia apresenta um desvio miópico. A precisão média do NETRA® foi de 0,18D. [35]

Outro estudo que avaliou o *EyeQue*TM compararam a precisão de medida do mesmo com outros métodos de medida da refração objetivas. Quando comparado com um autorrefratômetro comercial os autores admitem que o equipamento a validar apresenta uma boa precisão na detecção de erros refrativos, contudo, apontam falhas para o rastreamento de problemas a nível de visão binocular. No mesmo trabalho a diferença média encontrada para o equivalente esférica da refração (*M*) foi de -0,07D e de 0D para as componentes vetoriais do astigmatismo (*J0* e *J45*). Para os resultados da variável *M*, 73,86% encontram-se com os resultados medidos com o autorrefratômetro em 0,50D. Em relação à acuidade visual, 53% dos olhos que apresentaram variações na mesma, melhoraram com a prescrição apresentada pelo *EyeQue*TM em 0,45 letras, o que não representa uma diferença clinicamente significativa. [17]

Nos resultados médios obtidos com a realização de cada um dos métodos de medida do estado refrativo não se observam diferenças significativas estatisticamente. No entanto, ainda que os resultados sejam semelhantes, os intervalos de confiança em que estes se encontram são muito grandes, sendo que para a comparação com o autorrefratômetro variam entre os limites 1,84D e -2,16D. A nível clínico as diferenças chegam a ultrapassar o valor das 0,25D o que demonstra relevância clínica.

Nas medidas de repetibilidade, observam-se diferenças clinicamente significativas entre as dez medidas realizadas a cada sujeito, chegando a ser superiores a 0,25D. Para refrações miópicas altas e a média de medidas através do *EyeQue*TM pode ser muito semelhante, contudo, a dispersão das mesmas é alta. Os valores obtidos foram mais hipermetrópicos, o que se pode associar à pobre precisão do *EyeQue*TM para realizar medidas em miopias altas, algo que já fora apontado por outros autores. [17]

Não é conhecida a razão para que as medidas com o equipamento a validar por vezes mostrem valores mais hipermetrópicos. É possível que o equipamento esteja calibrado para que se registre uma medida mais hipermetrópicas do que a refração normal do sujeito para compensar as possíveis variações causadas pela acomodação do olho.

Uma avaliação a olhos de prova artificiais, caso fosse possível, poderia ser um excelente método para se verificar a influência da acomodação.

O tamanho e a composição da amostra podem ser insuficientes visto que alguns indivíduos encontraram dificuldades ao longo da realização dos testes no alinhamento da imagem e em manter o olho contralateral focado no optotipo colocado na sala. A idade da população e o conforto com novas tecnologias mostraram ser uma parceria positiva, uma tentativa de medição num indivíduo com mais idade revelou várias dificuldades, como entender o funcionamento da aplicação e do equipamento, sendo que a barreira linguística pode causar algum transtorno, sendo que é através de comandos de voz que se realizam as medidas.

Os valores médios entre as diferentes métricas revelam que o dispositivo móvel *EyeQue*TM oferece valores com alguma exatidão, contudo, a dispersão entre os dados é grande e indica que se trata de um equipamento com uma baixa precisão. A repetibilidade do mesmo está próxima da refração real dos pacientes mas com valores mais positivos, o que indica que os sujeitos podem não conseguir relaxar a acomodação do olho contralateral. O manuseamento e a perceção do funcionamento do instrumento podem ser bastante complicados durante a realização dos testes.

6. CONCLUSÕES

- Os resultados sugerem que as medidas de refração objetiva registadas através do *EyeQue*TM são pouco precisas quando comparada com as medidas obtidas através do autorrefratómetro de campo aberto pois encontram-se diferenças clinica e estatisticamente significativas.
- Grande dispersão entre os resultados registados através das métricas em estudo.
- As medidas do estado refrativo através do *EyeQue*TM podem ser bons indicadores do erro refrativo de um paciente através de uma análise rápida.
- A qualidade ótica das imagens obtidas através da refração encontrada apresenta variações clinicamente significativas na acuidade visual.
- Variações com significância clínica nos valores da repetibilidade do equipamento.
- Valores mais hipermetrópicos da esfera registados com o *EyeQue*TM, que pode estar associado à baixa precisão do instrumento.
- Não existe informação que permita entender a influência da acomodação durante a realização do protocolo da aplicação móvel.
- Manuseamento complicado durante a realização dos testes.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Tunnacliffe AH. Introduction to visual optics. Kent: Association of British Dispensing Opticians. 2004.
2. Faria-Ribeiro M, Pinto V, Queirós A. *EyeQue*TM - Aplicação móvel para rastreio visual baseada na avaliação indirecta dos erros refrativos. *ÓpticaPro*. 2018 mar.
3. Ana Maria Pinho, em aula de Anatomia e Fisiologia Ocular da Licenciatura em Optometria e Ciências da Visão da Universidade do Minho, ministrada em setembro de 2014.
4. Elkington AR. Clinical Optics. John Wiley and Sons Ltd. 3 Rev ed.
5. Pascolini D, Mariotti SP. Global estimates of visual impairment: 2010. *Br J Ophthalmol*. 2012. 96: 614-618.
6. Huang J, Wen D, Wang Q, et al. Efficacy comparison of 16 interventions for myopia control in children: a network meta-analysis. *Ophthalmology*. 2016. 123: 697-708.
7. World Health Organization. International statistical classification of diseases, injuries and causes of death, 10th version. Geneva: WHO; 1993. Disponível em: <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2010/en#/H53-H54>. Visitado a 17 de abril de 2018.
8. Williams KM, Verhoeven VJ, Cumberland P, Bertelsen G, Wolfram C, et al. Prevalence of refractive error in Europe: the European Eye Epidemiology (E(3)) Consortium. *Eur J Epidemiol*. 2015. 30: 305-315.

9. Netto ET, Gulin M, Zapparoli M, Moreira H. Pacientes com astigmatismo submetidos à cirurgia de catarata: LIO tórica x LIO asférica?. Arq Bras Oftalmol. 2013. 76: 4.
8. González-Méijome JM. Contactologia; González-Meijome JM, editor: José Manuel González-Meijome. 2005. 588 p.
9. Kanski JJ, Bowling B. Kanski Oftalmologia Clínica: Uma abordagem sistêmica: Elsevier Brasil. 2016
10. Jorge J, Queirós A, Almeida JB, Parafita MA. Retinoscopy/Autorefractometry: which is the best starting point for a noncycloplegic refraction? Optom Vis Sci. 2005. 82: 64-68.
11. Chat Sw, Edwards MH. Clinical evaluation of the Shin-Nippon SRW-5000 autorefractor in children. Ophthalmic Physiol Opt. 2001. 21: 87-100.
12. Strang NC, Gray LS, Winn B, Pugh JR. Clinical evaluation of patient tolerance to autorefractor prescriptions. Clin Exp Optom. 1998. 81: 112-118
13. Bullimore MA, Fusaro RE, Adams CW. The repeatability of automated and clinician refraction. Optom Vis Sci. 1998. 75: 617-622
14. Moore KE, Berntsen DA. Central and peripheral autorefractometry repeatability in normal eyes. Optom Vis Sci. 2014. 91: 1106-1112.
15. EyeQue Personal Vision Tracker: How It Works. Disponível em: <https://www.eyeque.com/pdfjs/web/viewer.html?file=/documents/EyeQue-HowItWorks.pdf>. Visitado a 25 de Março de 2018.

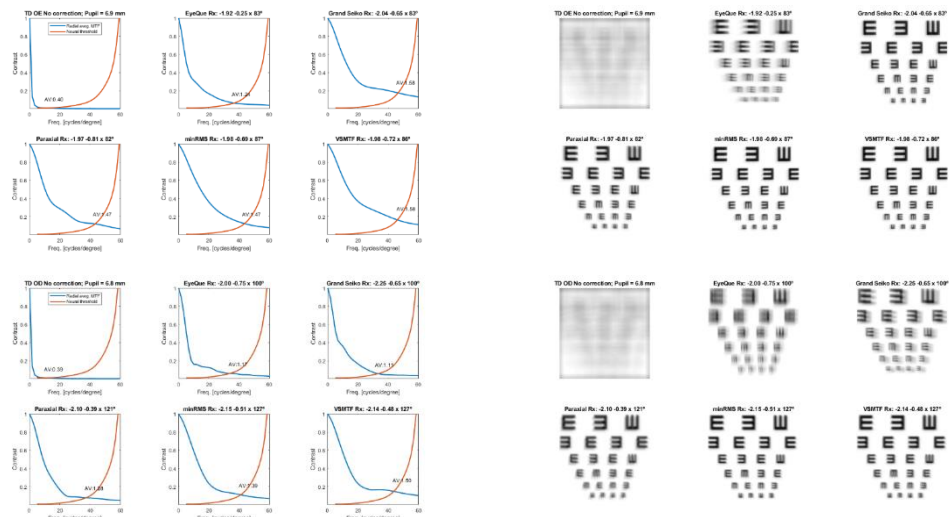
16. Pamplona V, Menezes de Oliveira Neto M, Mohan A, Raskar R. U.S.Patent No. USS8783871 B2. 2014. Washington, DC: U.S.
17. Comparison of the EyeQue Personal Vision Tracker with the Topcon KR-800 Autorefractor. Disponível em: <https://www.eyequ.com/pdfjs/web/viewer.html?file=/documents/EyeQue-ScientificStudy.pdf>. Visitado a 25 de Março de 2018.
18. Bennett JR, Stalboerger GM, Hodge DO, Schornack MM. Comparison of refractive assessment by wavefront aberrometry, autorefraction and subjective refraction. J Optom. 2015. 8: 109-115.
19. Atchison DA. Comparison of peripheral refractions determined by different instruments. Optom Vis Sci. 2003. 80: 655-660.
20. Lombardo M, Lombardo G. Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. Cataract Refract Surg. 2010. 36: 313-331.
21. Applegate RA, Marsack JD, Ramos R, Sarver EJ. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. J Cataract Refract Surg. 2003. 29: 1487-1495.
22. Cheng H, Barnett JK, Vilupuru AS, et al. A population study on changes in wave aberrations with accommodation. Journal of Vision. 2004. 4: 272-280.
23. Charman WN. Aberrations and myopia. Ophthalmic Physiol Opt. 2005. 25: 285-301.
24. Lawless MA, Hodge C. Wavefront's role in corneal refractive surgery. Clin Experiment Ophthalmol. 2005. 33:199-209.

25. Marsack JD, Thibos LN, Applegate RA. Metrics of optical quality derived from wave aberrations predict visual performance. *Journal of Vision*. 2004. 4:322-328.
26. Cheng X, Bradley A, Thibos LN. Predicting subjective judgement of best focus with objective image quality metrics. *Journal of Vision*. 2004. 4:310-321.
27. Cheng X, Thibos LN, Bradley A. Estimating visual quality from wavefront aberration measurements. *J Refract Surg*. 2003. 19:579-584.
28. Liang J, Williams DR. Aberrations and retinal image quality of the normal human eye. *J Opt Soc Am A*. 1997. 14:2873-2883.
29. Thibos LN, Hong X, Bradley A, Applegate RA. Accuracy and precision of objective refraction from wavefront aberrations. *Journal of Vision*. 2004. 4:329-351.
30. Guirao A, Porter J, Williams DR, Cox IG. Calculated impact of high-order monochromatic aberrations on retinal image quality in a population of human eyes. *J Opt Soc Am A*. 2002. 19: 620-628.
31. Ravikumar A, Marsack JD, Bedell HE, Shi Y, Applegate RA. Change in visual acuity is well correlated with change in image-quality metrics for both normal and keratoconic wavefront errors. *Journal of Vision*. 2013. 13:28.
32. Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: na application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci*. 1997. 74:367-375.
33. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1. 1986. 307-310.

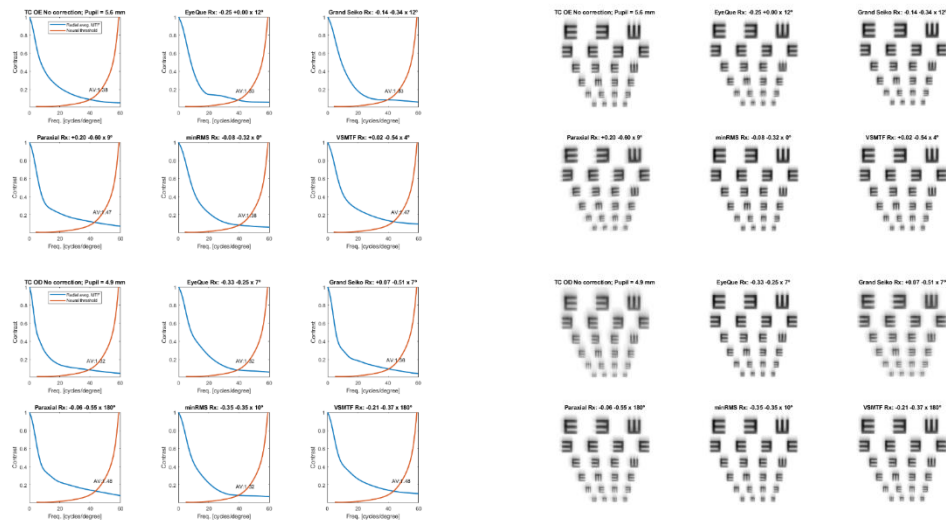
34. Pamplona VF, Turpin S, Cuadros J, Modi R. Validation of confidence levels for a cell phone-based refractor (NETRA-G). *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015. 56.
35. Pesala V, Srinivasan S, Solomon E, Pamplona VF, Oliveira MM, Raskar R, Bharadwaj S. Comparison of a novel cell phone-based refraction technique (NETRA) with objective clinical retinoscopy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011. 52.
36. Queirós A, Jorge J, González-Méijome JM. Influence of fogging lenses and cyclopegia on peripheral refraction. *J Optom*. 2009. 2:83-89.

8. ANEXOS

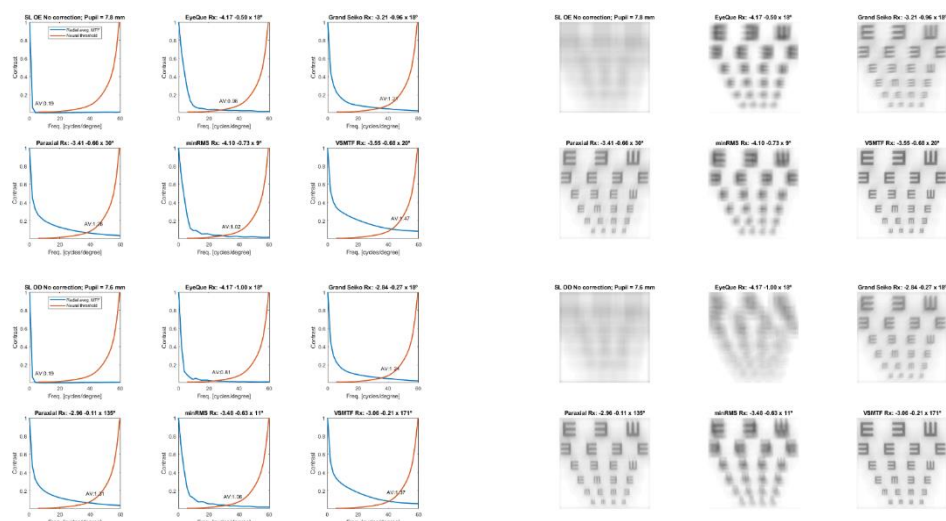
ID	TD OD	TD OE
Diâmetro pupilar	6,8 mm	6,9 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-2,00 -0,75 x 100°	-1,92 -0,25 x 83°
<i>Grand Seiko</i> RX	-2,25 -0,65 x 100°	-2,04 -0,65 x 83°
Paraxial RX	-2,10 -0,39 x 121°	-1,97 -0,81 x 82°
minRMS RX	-2,15 -0,51 x 121°	-1,98 -0,69 x 87°
VSMTF RX	-2,14 -0,48 x 127°	-1,98 -0,72 x 86°



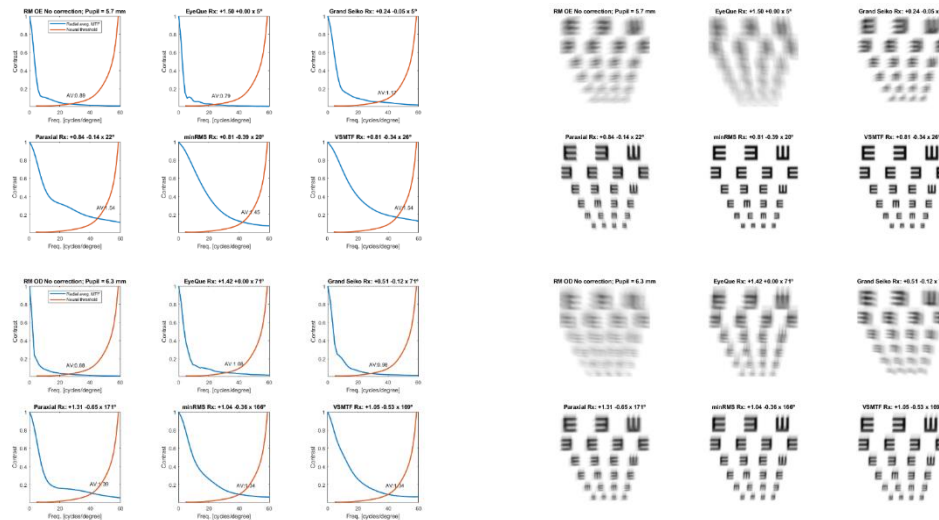
ID	TC OD	TC OE
Diâmetro pupilar	5,6 mm	4,9 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-0,33 -0,25 x 7°	-0,25 +0,00 x 12°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,07 -0,51 x 7°	-0,14 -0,34 x 12°
Paraxial RX	-0,06 -0,55 x 180°	-0,20 -0,60 x 9°
minRMS RX	-0,35 -0,35 x 10°	-0,08 -0,32 x 0°
VSMTF RX	-0,21 -0,37 x 180°	+0,02 -0,54 x 4°



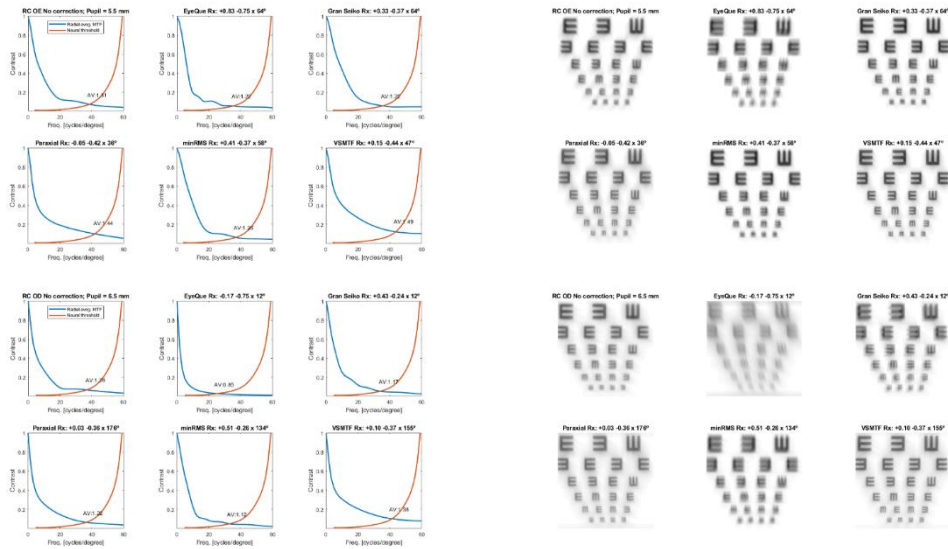
ID	SL OD	SL OE
Diâmetro pupilar	7,6 mm	7,8 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-4,17 -1,00 x 18°	-4,17 -0,50 x 18°
<i>Grand Seiko</i> RX	-2,84 -0,27 x 18°	-3,21 -0,96 x 18°
Paraxial RX	-2,96 -0,11 x 135°	-3,41 -0,66 x 30°
minRMS RX	-3,48 -0,63 x 11°	-4,10 -0,73 x 9°
VSMTF RX	-3,06 -0,21 x 171°	-3,55 -0,68 x 20°



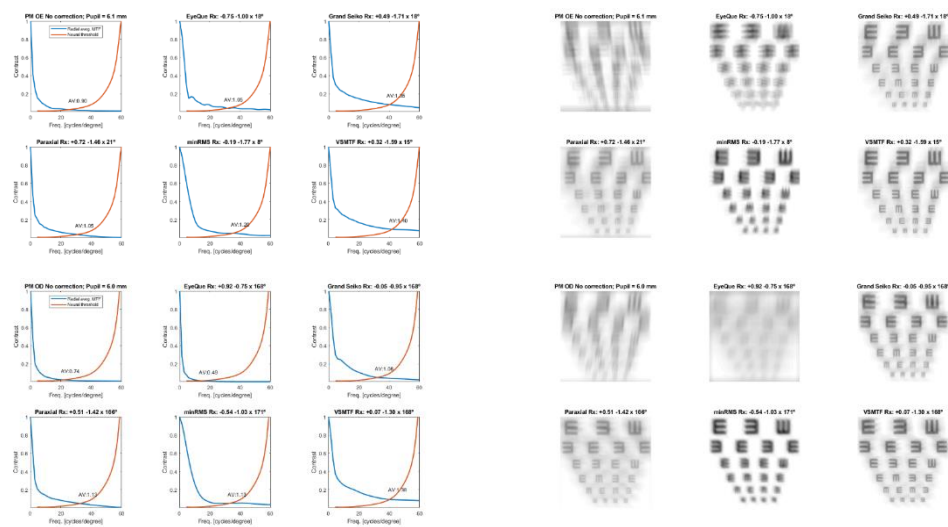
ID	RM OD	RM OE
Diâmetro pupilar	6,3 mm	5,7 mm
<i>EyeQue™</i> RX	+1,42 +0,00 x 71°	+1,50 +0,00 x 5°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,51 -0,12 x 71°	+0,24 -0,05 x 5°
Paraxial RX	+1,31 -0,65 x 171°	+0,84 -0,14 x 22°
minRMS RX	+1,04 -0,36 x 166°	+0,81 -0,39 x 20°
VSMTF RX	+1,05 -0,53 x 169°	+0,81 -0,34 x 26°



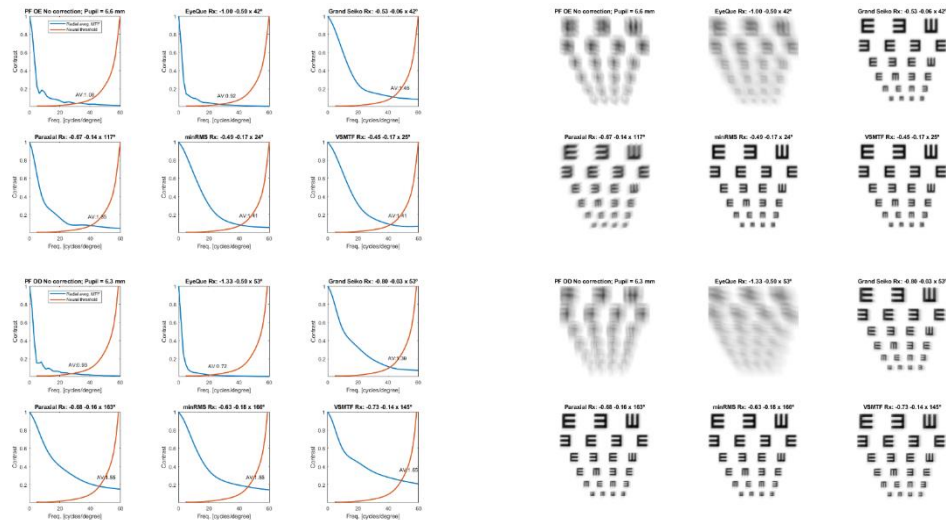
ID	RC OD	RC OE
Diâmetro pupilar	6,5 mm	5,5 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-0,17 -0,75 x 12°	+0,83 -0,75 x 64°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,43 -0,24 x 12°	+0,33 -0,37 x 64°
Paraxial RX	+0,03 -0,36 x 176°	-0,05 -0,42 x 36°
minRMS RX	+0,51 -0,26 x 134°	+0,41 -0,37 x 58°
VSMTF RX	+0,10 -0,37 x 155°	+0,15 -0,44 x 47°



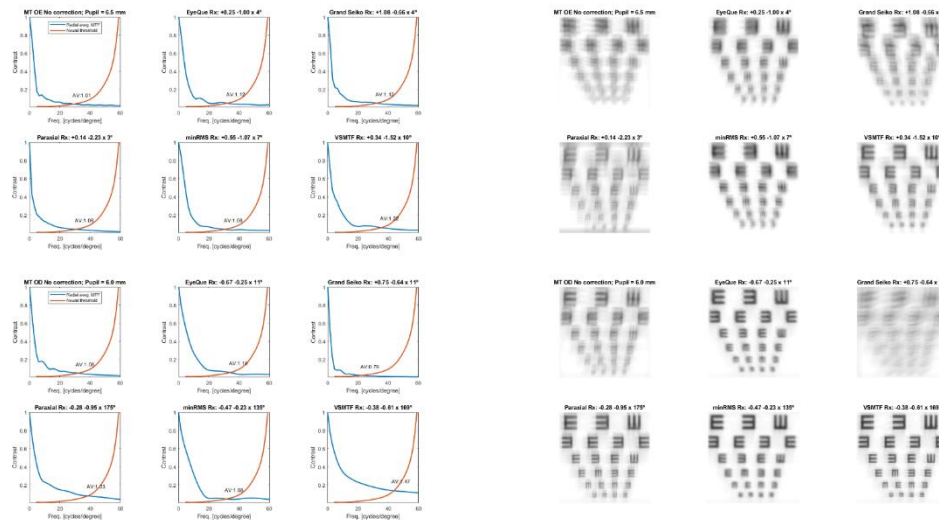
ID	PM OD	PM OE
Diâmetro pupilar	6,0 mm	6,1 mm
<i>EyeQue™</i> RX	+0,92 -0,75 x 168°	-0,75 -1,00 x 18°
<i>Grand Seiko</i> RX	-0,05 -0,95 x 168°	+0,49 -1,71 x 18°
Paraxial RX	+0,51 -1,42 x 166°	+0,72 -1,46 x 21°
minRMS RX	-0,54 -1,03 x 171°	-0,19 -1,77 x 8°
VSMTF RX	+0,07 -1,30 x 168°	+0,32 -1,59 x 15°



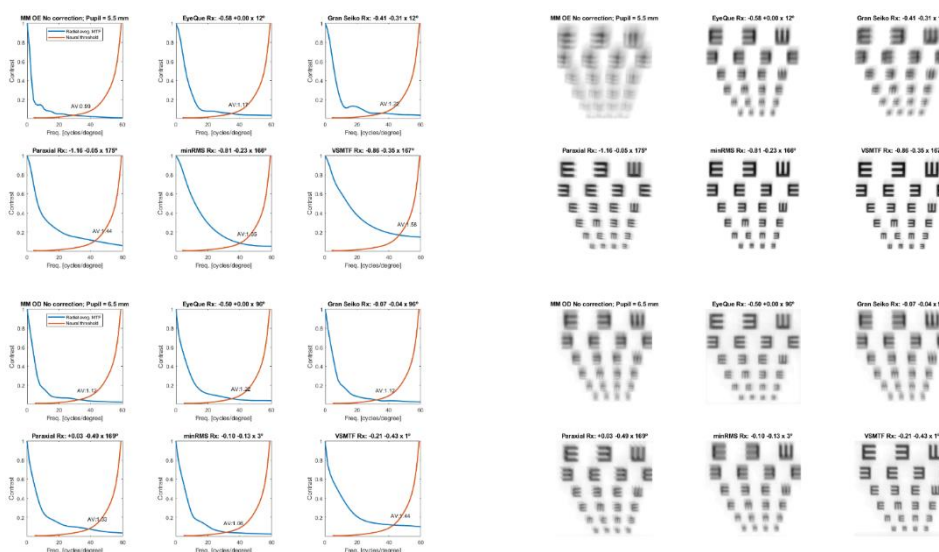
ID	PF OD	PF OE
Diâmetro pupilar	6,3 mm	6,6 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-1,33 -0,50 x 53°	-1,00 -0,50 x 42°
<i>Grand Seiko</i> RX	-0,80 -0,03 x 53°	-0,53 -0,06 x 42°
Paraxial RX	-0,68 -0,16 x 163°	-0,67 -0,14 x 117°
minRMS RX	-0,63 -0,18 x 166°	-0,49 -0,17 x 24°
VSMTF RX	-0,73 -0,14 x 145°	-0,45 -0,17 x 25°



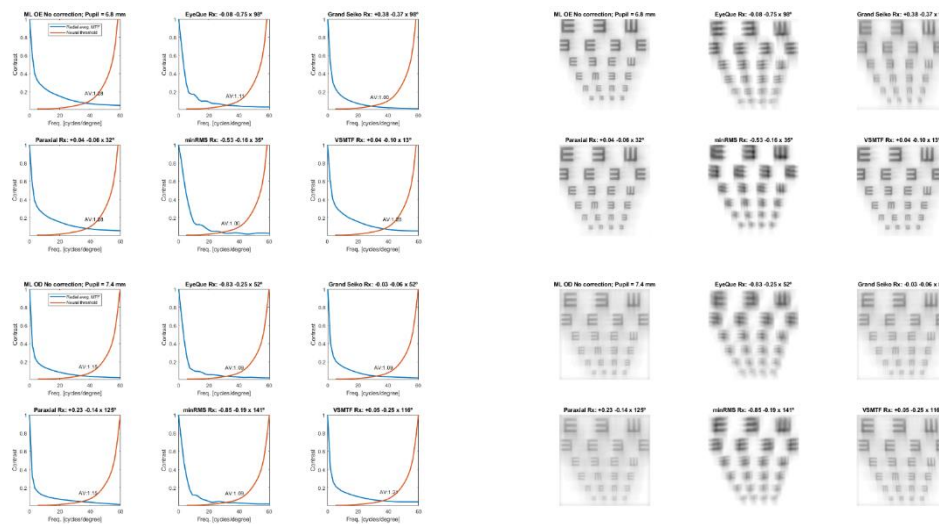
ID	MT OD	MT OE
Diâmetro pupilar	6,0 mm	6,5 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-0,67 -0,25 x 11°	+0,25 -1,00 x 4°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,75 -0,64 x 11°	+1,08 -0,66 x 4°
Paraxial RX	-0,28 -0,95 x 175°	+0,14 -2,23 x 3°
minRMS RX	-0,47 -0,23 x 135°	+0,55 -1,07 x 7°
VSMTF RX	-0,38 -0,61 x 169°	+0,34 -1,52 x 10°



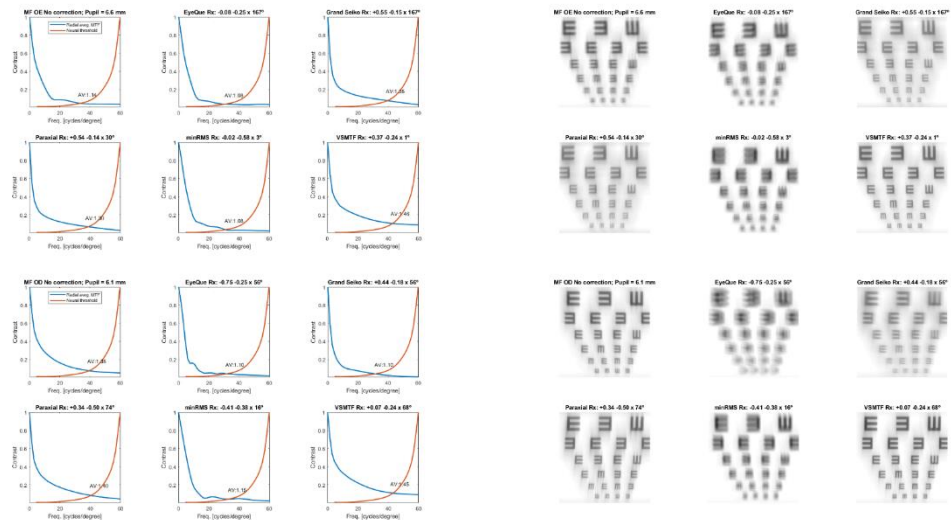
ID	MM OD	MM OE
Diâmetro pupilar	6,5 mm	5,5 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-0,50 +0,00 x 96°	+0,58 +0,00 x 12°
<i>Grand Seiko</i> RX	-0,07 -0,04 x 96°	-0,41 -0,31 x 12°
Paraxial RX	+0,03 -0,49 x 169°	-1,16 -0,05 x 175°
minRMS RX	-0,10 -0,13 x 3°	-0,81 -0,23 x 166°
VSMTF RX	-0,21 -0,43 x 1°	-0,86 -0,35 x 167°



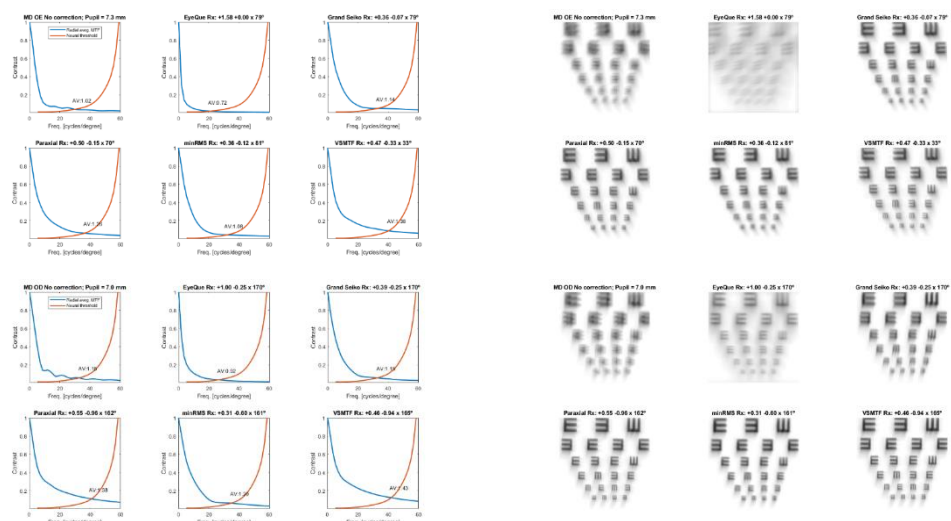
ID	ML OD	ML OE
Diâmetro pupilar	7,4 mm	6,8 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-0,83 -0,25 x 52°	-0,08 -0,75 x 98°
<i>Grand Seiko</i> RX	-0,03 -0,06 x 52°	+0,38 -0,37 x 98°
Paraxial RX	+0,23 -0,14 x 125°	+0,04 -0,06 x 32°
minRMS RX	-0,85 -0,19 x 141°	-0,53 -0,16 x 35°
VSMTF RX	+0,05 -0,25 x 116°	+0,04 -0,10 x 13°



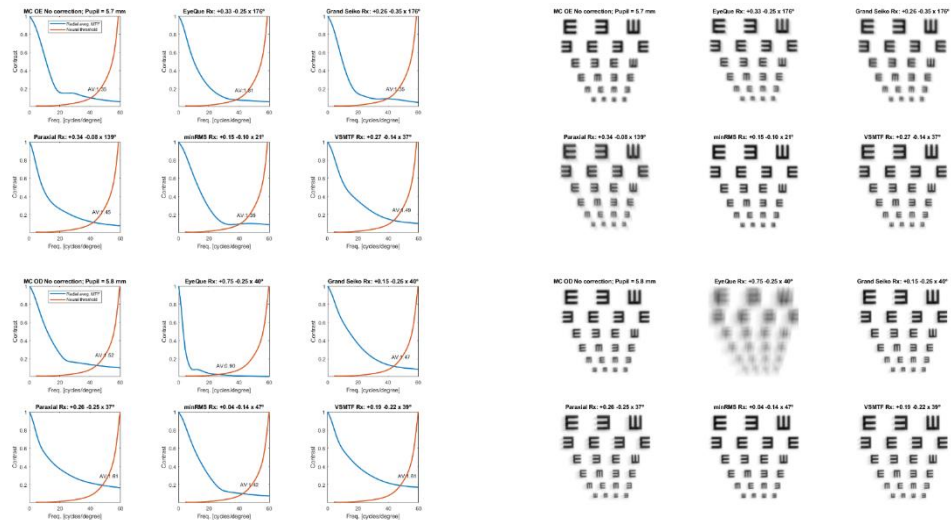
ID	MF OD	MF OE
Diâmetro pupilar	6,1 mm	6,6 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-0,75 -0,25 x 56°	-0,08 -0,25 x 167°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,44 -0,18 x 56°	+0,55 -0,15 x 167°
Paraxial RX	+0,34 -0,50 x 74°	+0,54 -0,14 x 30°
minRMS RX	-0,41 -0,38 x 16°	-0,02 -0,58 x 3°
VSMTF RX	+0,07 -0,24 x 68°	+0,37 -0,24 x 1°



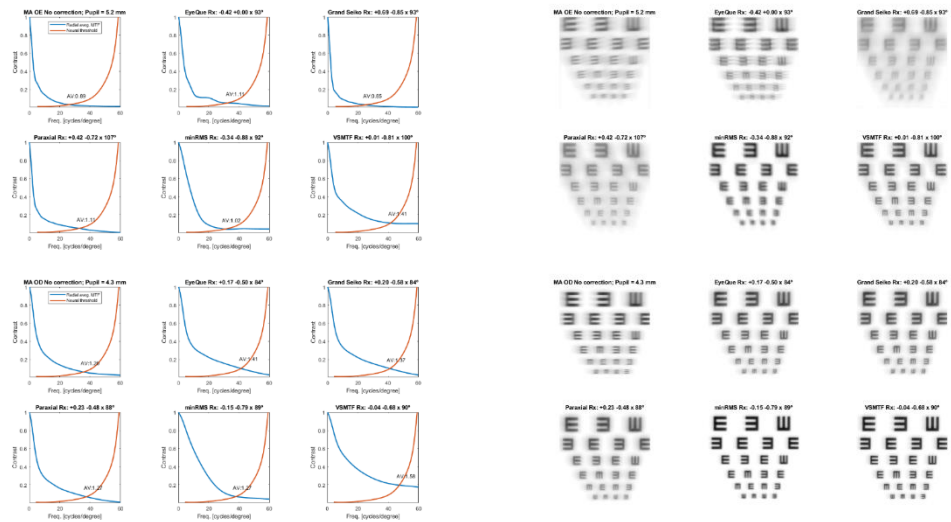
ID	MD OD	MD OE
Diâmetro pupilar	7,0 mm	7,3 mm
<i>EyeQue™</i> RX	+1,00 -0,25 x 170°	+1,58 +0,00 x 79°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,39 -0,25 x 170°	+0,36 -0,07 x 79°
Paraxial RX	+0,55 -0,96 x 162°	+0,50 -0,15 x 70°
minRMS RX	+0,31 -0,60 x 161°	+0,36 -0,12 x 81°
VSMTF RX	+0,46 -0,94 x 165°	+0,47 -0,33 x 33°



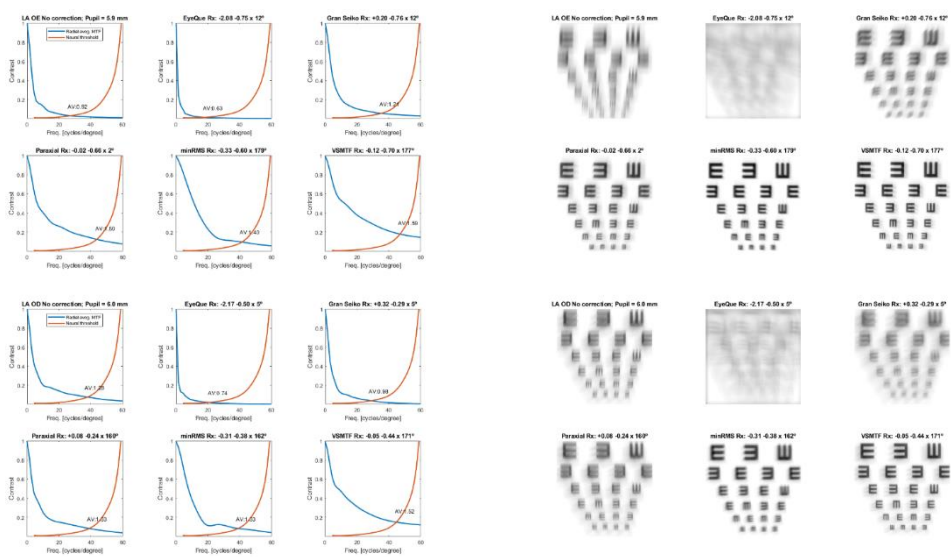
ID	MC OD	MC OE
Diâmetro pupilar	5,8 mm	5,7 mm
<i>EyeQue™</i> RX	+0,75 -0,25 x 40°	+0,33 -0,25 x 176°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,15 -0,26 x 40°	+0,26 -0,35 x 176°
Paraxial RX	+0,26 -0,25 x 37°	+0,34 -0,08 x 139°
minRMS RX	+0,04 -0,14 x 47°	+0,15 -0,10 x 21°
VSMTF RX	+0,19 -0,22 x 39°	+0,27 -0,14 x 37°



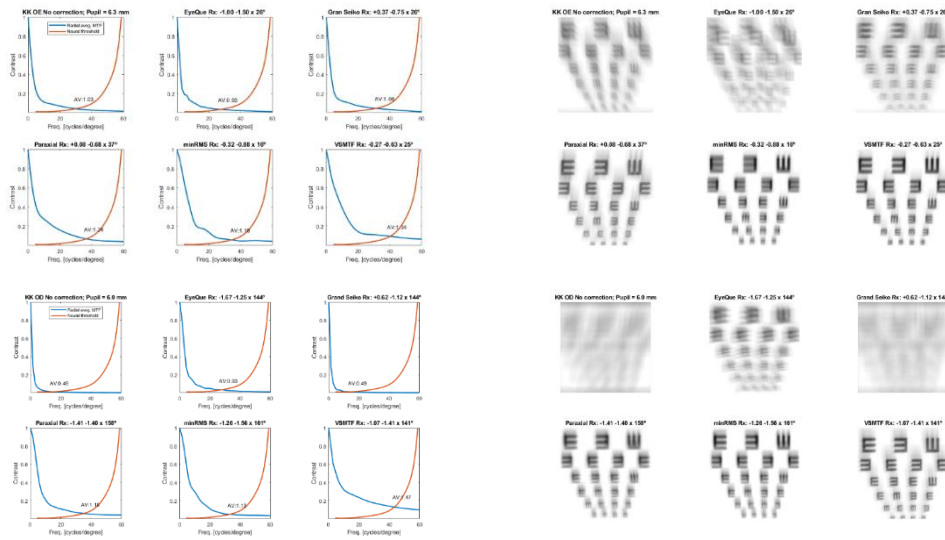
ID	MA OD	MA OE
Diâmetro pupilar	4,3 mm	5,2 mm
<i>EyeQue™</i> RX	+0,17 -0,50 x 84°	-0,42 +0,00 x 93°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,20 -0,58 x 84°	+0,69 -0,85 x 93°
Paraxial RX	+0,23 -0,48 x 88°	+0,42 -0,72 x 107°
minRMS RX	-0,15 -0,79 x 89°	-0,34 -0,88 x 92°
VSMTF RX	-0,04 -0,68 x 90°	+0,01 -0,81 x 100°



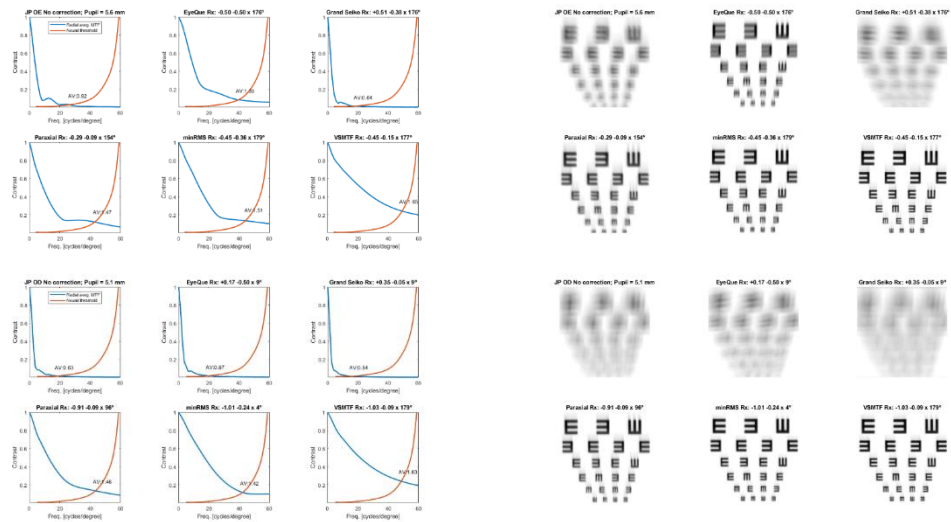
ID	LA OD	LA OE
Diâmetro pupilar	6,0 mm	5,9 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-2,17 -0,50 x 5°	-2,08 -0,75 x 12°
<i>Grand Seiko</i> RX	-0,32 -0,58 x 5°	+0,20 -0,76 x 12°
Paraxial RX	+0,08 -0,48 x 160°	-0,02 -0,66 x 2°
minRMS RX	-0,31 -0,79 x 162°	-0,33 -0,60 x 179°
VSMTF RX	-0,05 -0,68 x 171°	-0,12 -0,70 x 177°



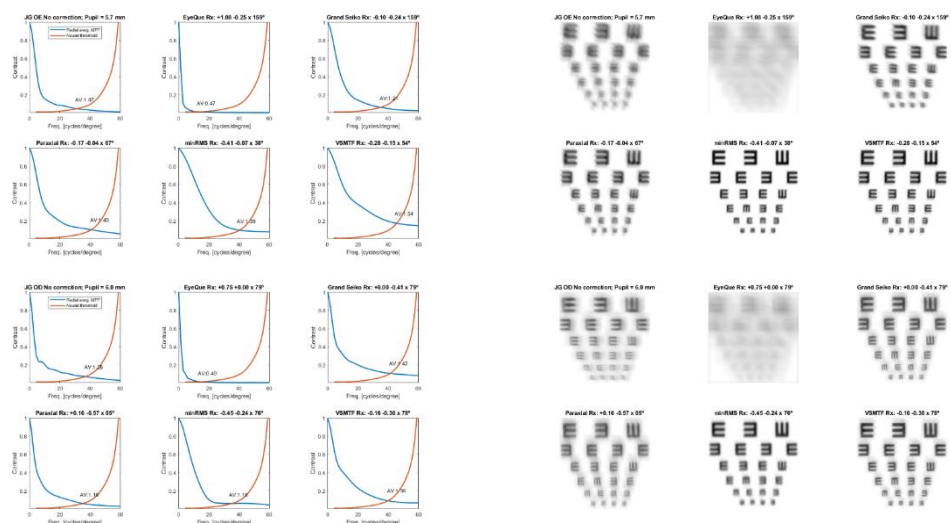
ID	KK OD	KK OE
Diâmetro pupilar	6,0 mm	6,3 mm
<i>EyeQue</i> TM RX	-1,67 -1,25 x 144°	-1,00 -1,50 x 26°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,62 -1,12 x 144°	+0,37 -0,75 x 26°
Paraxial RX	-1,41 -1,40 x 158°	+0,08 -0,68 x 37°
minRMS RX	-1,26 -1,56 x 161°	-0,32 -0,88 x 16°
VSMTF RX	-1,06 -1,41 x 141°	-0,27 -0,63 x 25°



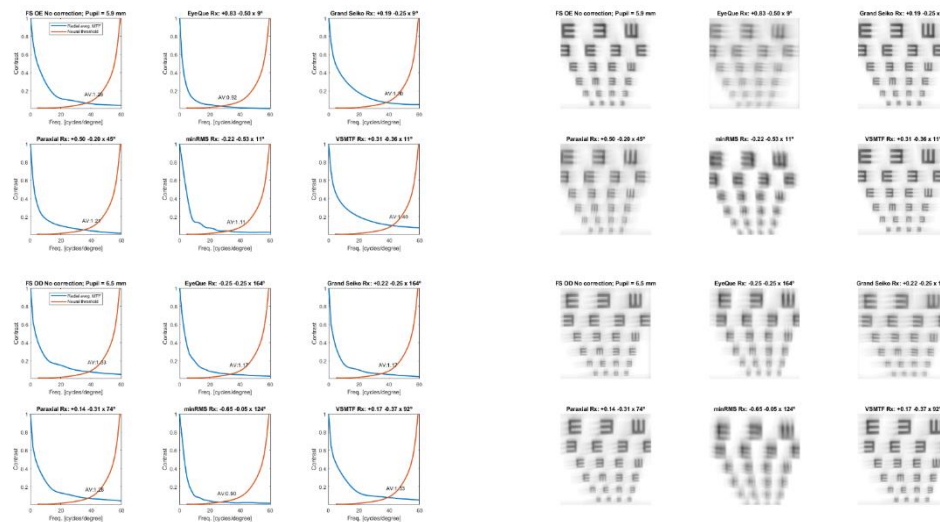
ID	JP OD	JP OE
Diâmetro pupilar	5,1 mm	5,6 mm
<i>EyeQue</i> TM RX	+0,17 -0,50 x 9°	-0,50 -0,50 x 176°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,35 -0,05 x 9°	+0,51 -0,38 x 176°
Paraxial RX	-0,91 -0,09 x 96°	-0,29 -0,09 x 154°
minRMS RX	-1,01 -0,24 x 4°	-0,45 -0,36 x 179°
VSMTF RX	-1,03 -0,09 x 179°	-0,45 -0,15 x 177°



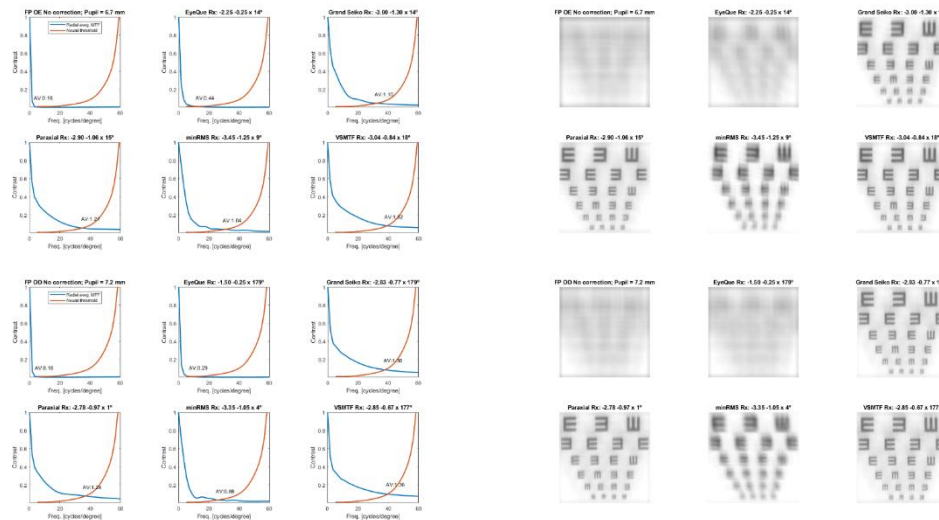
ID	JG OD	JG OE
Diâmetro pupilar	6,0 mm	5,7 mm
<i>EyeQue™</i> RX	+0,75 +0,00 x 79°	+1,08 -0,25 x 159°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,00 -0,41 x 79°	-0,10 -0,24 x 159°
Paraxial RX	+0,16 -0,57 x 85°	-0,17 -0,04 x 67°
minRMS RX	-0,45 -0,24 x 76°	-0,41 -0,07 x 38°
VSMTF RX	-0,16 -0,36 x 78°	-0,28 -0,15 x 54°



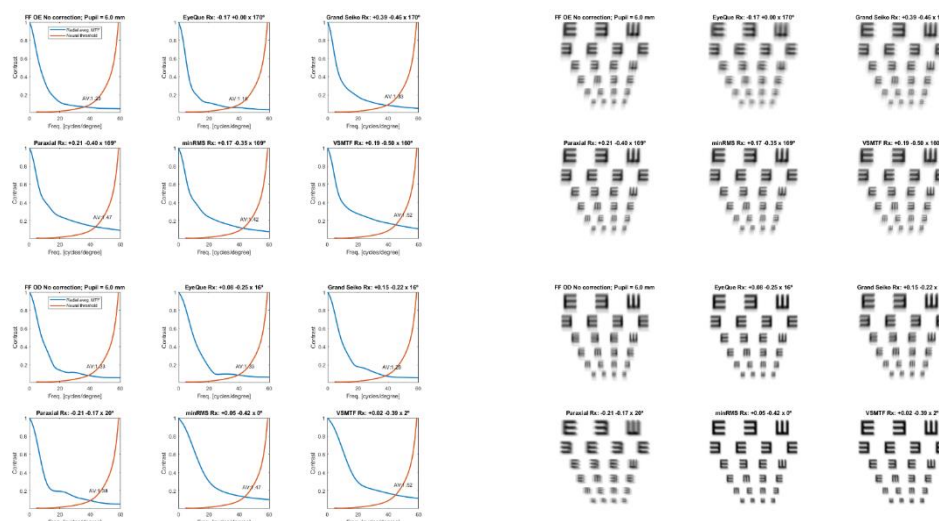
ID	FS OD	FS OE
Diâmetro pupilar	6,5 mm	5,9 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-0,25 -0,25 x 164°	+0,83 -0,50 x 9°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,22 -0,26 x 164°	+0,19 -0,25 x 9°
Paraxial RX	+0,14 -0,31 x 74°	+0,50 -0,20 x 45°
minRMS RX	-0,65 -0,05 x 124°	-0,22 -0,53 x 11°
VSMTF RX	+0,17 -0,37 x 92°	+0,31 -0,36 x 11°



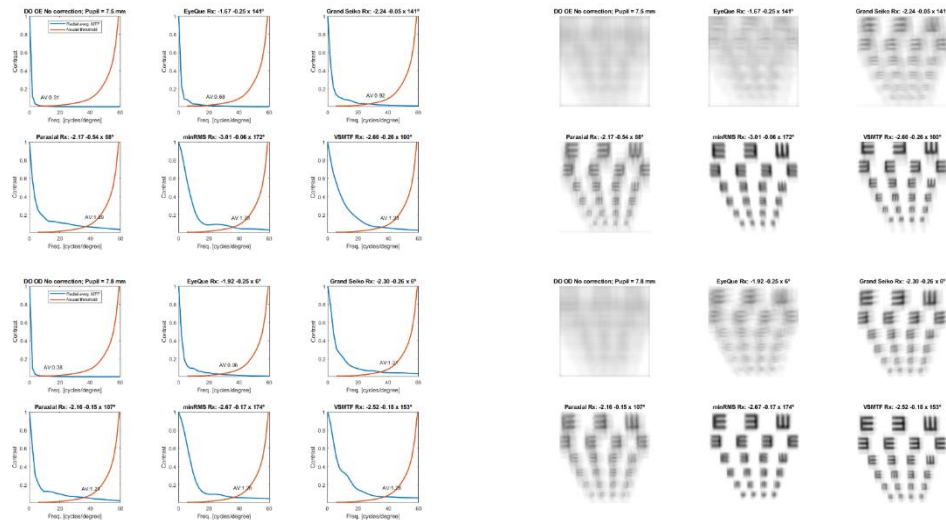
ID	FP OD	FP OE
Diâmetro pupilar	7,2 mm	6,7 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-1,50 -0,25 x 179°	-2,25 -0,25 x 14°
<i>Grand Seiko</i> RX	-2,83 -0,77 x 179°	-3,00 -1,30 x 14°
Paraxial RX	-2,78 -0,97 x 1°	-2,90 -1,06 x 15°
minRMS RX	-3,35 -1,05 x 4°	-3,45 -1,25 x 9°
VSMTF RX	-2,85 -0,68 x 177°	-3,04 -0,84 x 18°



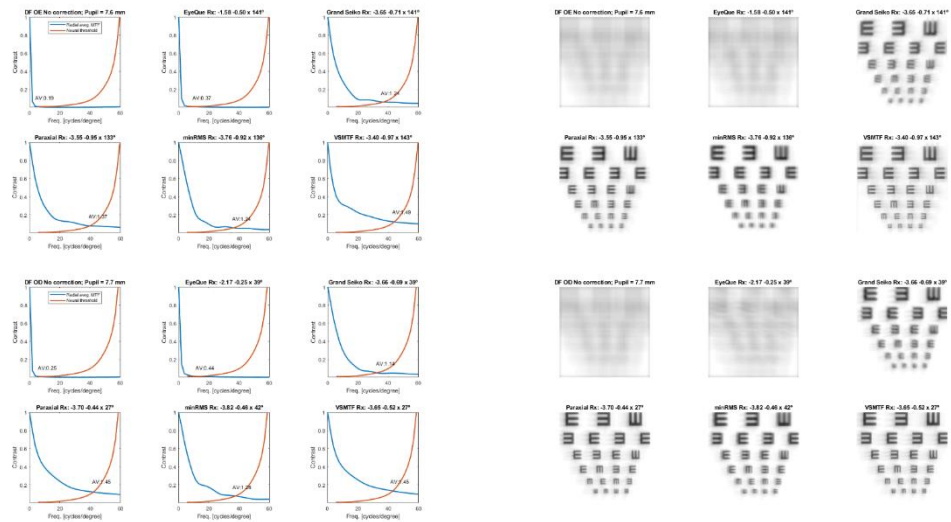
ID	FF OD	ML OE
Diâmetro pupilar	6,0 mm	6,0 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-0,08 -0,25 x 16°	-0,17 +0,00 x 170°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,15 -0,22 x 16°	+0,39 -0,46 x 170°
Paraxial RX	-0,21 -0,17 x 20°	+0,21 -0,40 x 169°
minRMS RX	+0,05 -0,42 x 0°	+0,17 -0,35 x 169°
VSMTF RX	+0,02 -0,39 x 2°	+0,19 -0,50 x 160°



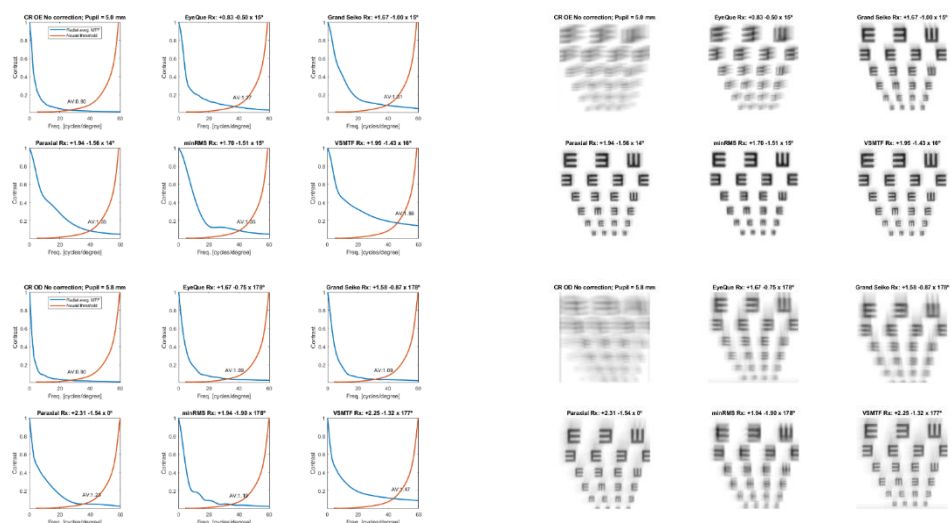
ID	DO OD	DO OE
Diâmetro pupilar	7,8 mm	7,5 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-1,92 -0,25 x 6°	-1,67 -0,25 x 141°
<i>Grand Seiko</i> RX	-2,30 -0,26 x 6°	-2,24 -0,05 x 141°
Paraxial RX	-2,16 -0,15 x 107°	-2,17 -0,54 x 88°
minRMS RX	-2,67 -0,17 x 174°	-3,01 -0,06 x 172°
VSMTF RX	-2,52 -0,18 x 153°	-2,66 -0,26 x 100°



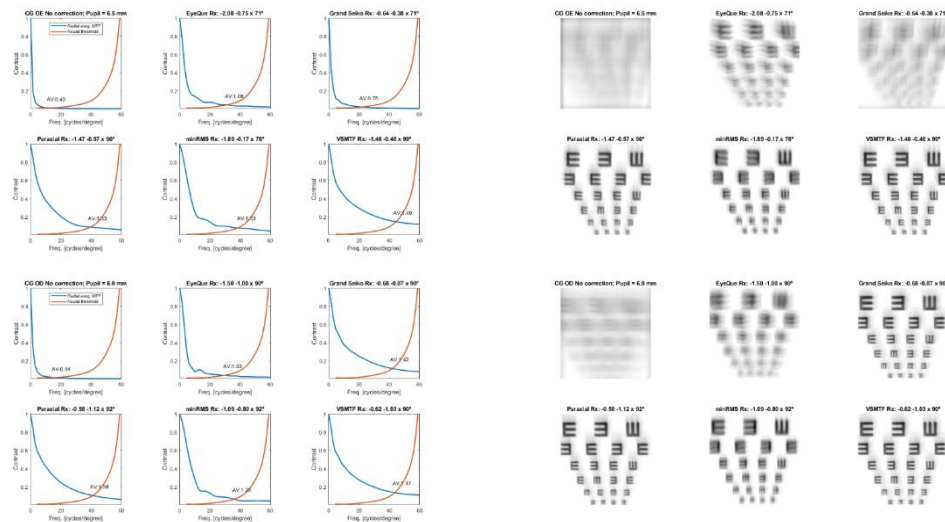
ID	DF OD	DF OE
Diâmetro pupilar	7,7 mm	7,6 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-2,17 -0,25 x 39°	-1,58 -0,50 x 141°
<i>Grand Seiko</i> RX	-3,66 -0,69 x 39°	-3,65 -0,71 x 141°
Paraxial RX	-3,70 -0,44 x 27°	-3,55 -0,95 x 133°
minRMS RX	-3,82 -0,46 x 42°	-3,76 -0,92 x 136°
VSMTF RX	-3,65 -0,52 x 72°	-3,40 -0,97 x 143°



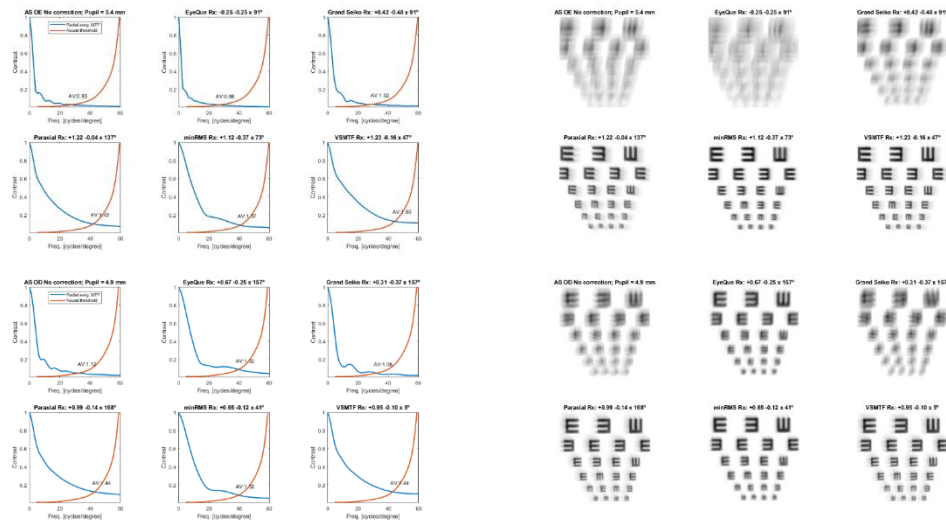
ID	CR OD	CR OE
Diâmetro pupilar	5,8 mm	5,0 mm
<i>EyeQue™</i> RX	+1,67 -0,75 x 178°	+0,83 -0,50 x 15°
<i>Grand Seiko</i> RX	+1,58 -0,87 x 178°	+1,67 -1,00 x 15°
Paraxial RX	+2,31 -1,54 x 0°	+1,94 -1,56 x 14°
minRMS RX	+1,94 -1,90 x 178°	+1,70 -1,51 x 15°
VSMTF RX	+2,25 -1,32 x 177°	+1,95 -1,43 x 16°



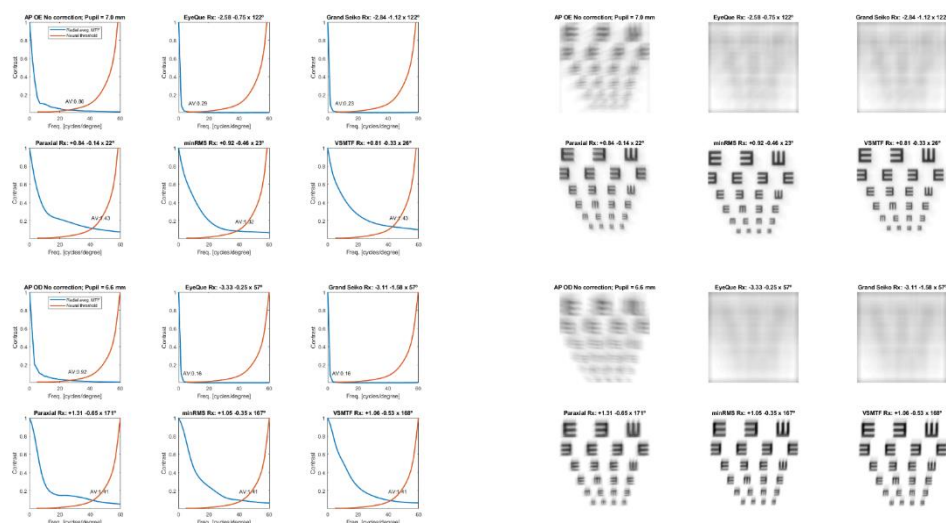
ID	CG OD	CG OE
Diâmetro pupilar	6,0 mm	6,5 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-1,50 -1,00 x 90°	-2,08 -0,75 x 71°
<i>Grand Seiko</i> RX	-0,68 -0,87 x 90°	-0,64 -0,38 x 71°
Paraxial RX	-0,58 -1,12 x 92°	-1,47 -0,57 x 90°
minRMS RX	-1,09 -0,80 x 92°	-1,89 -0,17 x 78°
VSMTF RX	-0,62 -1,03 x 90°	-1,46 -0,46 x 99°



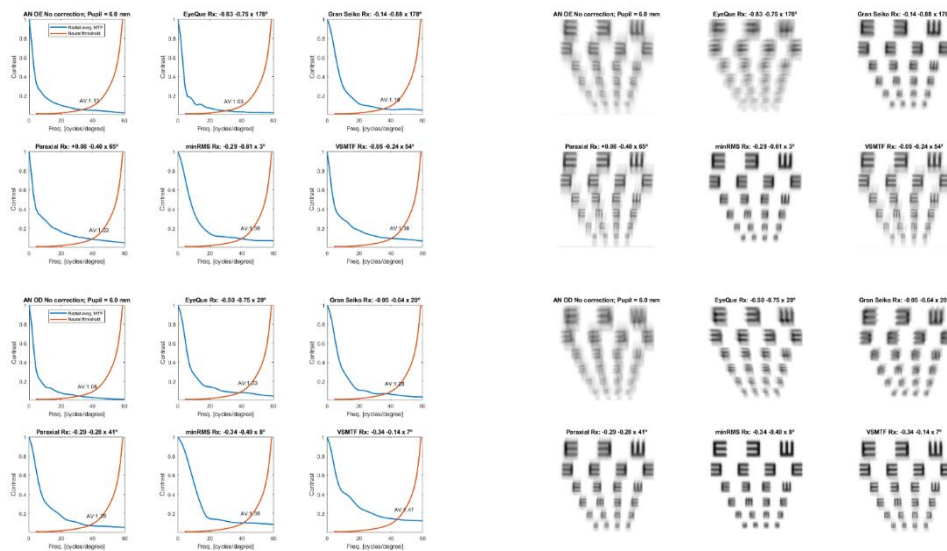
ID	AS OD	AS OE
Diâmetro pupilar	4,9 mm	5,4 mm
<i>EyeQue™</i> RX	+0,67 -0,25 x 157°	-0,25 -0,25 x 91°
<i>Grand Seiko</i> RX	+0,31 -0,37 x 157°	+0,42 -0,48 x 91°
Paraxial RX	+0,99 -0,14 x 168°	+1,21 -0,04 x 137°
minRMS RX	+0,65 -0,12 x 41°	+1,12 -0,37 x 73°
VSMTF RX	+0,95 -0,10 x 5°	+1,23 -0,16 x 47°



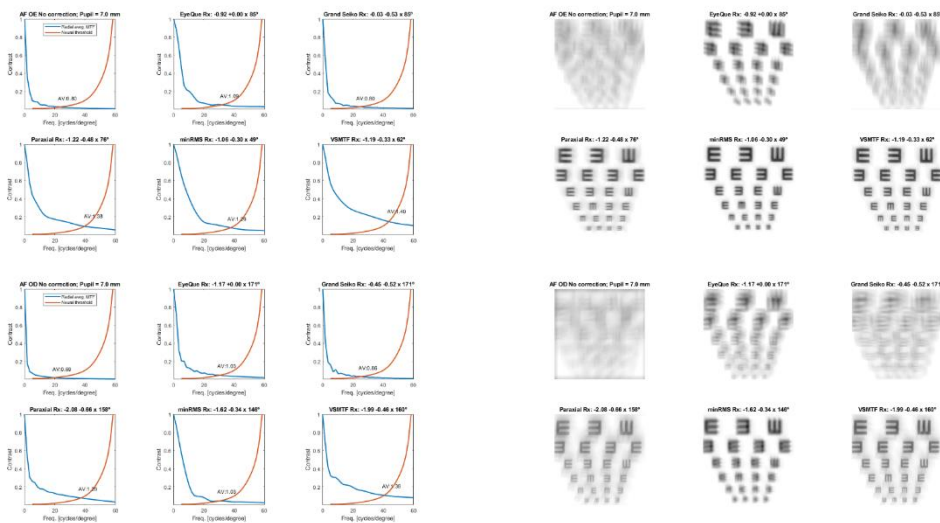
ID	AP OD	AP OE
Diâmetro pupilar	6,6 mm	7,0 mm
<i>EyeQue</i> TM RX	-3,33 -0,25 x 57°	-2,58 -0,75 x 122°
<i>Grand Seiko</i> RX	-3,11 -1,58 x 57°	-2,84 -1,12 x 122°
Paraxial RX	+1,31 -0,65 x 171°	+0,84 -0,14 x 22°
minRMS RX	+1,05 -0,35 x 167°	-0,92 -0,46 x 23°
VSMTF RX	+1,06 -0,53 x 168°	+0,81 -0,33 x 26°



ID	AN OD	AN OE
Diâmetro pupilar	6,0 mm	6,0 mm
<i>EyeQue</i> TM RX	-0,50 -0,75 x 20°	-0,83 -0,75 x 178°
<i>Grand Seiko</i> RX	-0,05 -0,64 x 20°	-0,14 -0,88 x 178°
Paraxial RX	-0,29 -0,28 x 41°	+0,08 -0,40 x 65°
minRMS RX	-0,34 -0,49 x 8°	-0,29 -0,61 x 3°
VSMTF RX	-0,34 -0,14 x 7°	-0,05 -0,24 x 54°



ID	AF OD	AF OE
Diâmetro pupilar	7,0 mm	7,0 mm
<i>EyeQue</i> TM RX	-1,17 +0,00 x 171°	-0,92 +0,00 x 85°
<i>Grand Seiko</i> RX	-0,45 -0,52 x 171°	-0,03 -0,53 x 85°
Paraxial RX	-2,08 -0,66 x 158°	-1,22 -0,48 x 76°
minRMS RX	-1,62 -0,34 x 146°	-1,06 -0,30 x 49°
VSMTF RX	-1,99 -0,46 x 160°	-1,19 -0,33 x 62°



ID	AD OD	AD OE
Diâmetro pupilar	6,0 mm	6,2 mm
<i>EyeQue™</i> RX	-2,83 -0,25 x 88°	-2,17 -0,25 x 78°
<i>Grand Seiko</i> RX	-3,60 -0,36 x 88°	-3,12 -0,26 x 78°
Paraxial RX	-2,95 -0,22 x 90°	-2,74 -0,24 x 91°
minRMS RX	-3,56 -0,36 x 107°	-3,40 -0,25 x 110°
VSMTF RX	-3,19 -0,27 x 94°	-3,03 -0,24 x 100°

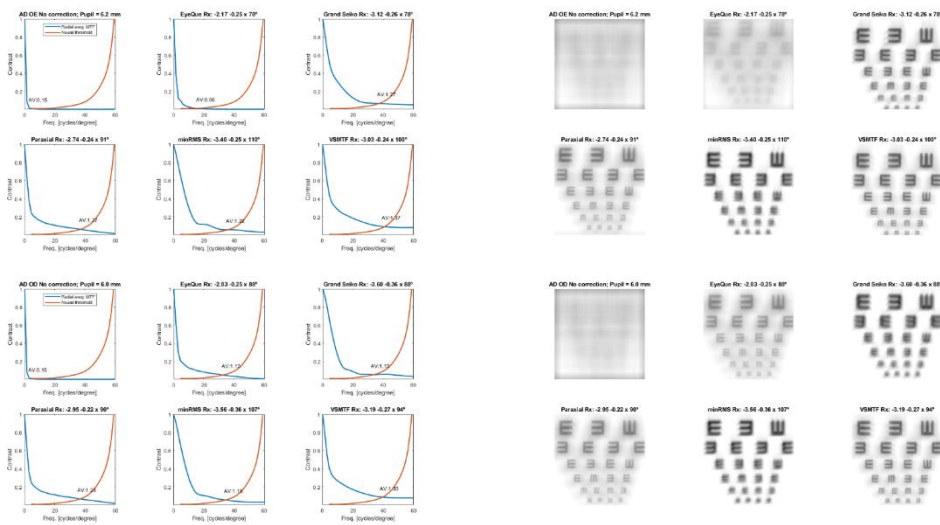


Figura 8.1 - Determinação gráfica para cada olho em estudo da acuidade visual esperada e representação da mesma através de diagramas de escala optométrica de Snellen

Consentimento Informado

Recolha e divulgação de dados de medidas de refração objetiva

1. A participação no presente estudo tem como objetivo validar um novo método de medida de refração objetiva através de um *smartphone* – *EyeQue Personal Vision Tracker™*.
2. Nenhum dos procedimentos de medida efetuados colocará em risco a saúde ocular e o bem estar físico do participante. A recolha dos dados será efetuado apenas num período do dia e numa visita apenas.
3. Na divulgação dos dados recolhidos é garantida a ocultação de quaisquer dados de identificação do participante e este é que decide participar no estudo de livre e espontânea vontade.
4. O participante tem sempre a possibilidade de abandonar o estudo sem qualquer restrição ou posteriores consequências.

Nome legível do investigador responsável:

Assinatura: _____ Data _____

(Vitor Hugo da Silva Pinto)

.....

Leia com atenção o conteúdo do presente documento. Não hesite em solicitar outras informações, caso seja necessário. Verifique se todas as condições se encontram corretas, caso entenda que concorda e que está tudo em conformidade, então, por favor, assine o documento.

Declaro, de livre vontade, com conhecimento sobre o propósito do estudo e da oportunidade para esclarecer quaisquer dúvidas sobre o assunto, que autorizo o ato acima referido e assinado pelo investigador Vitor Hugo Pinto.

NOME _____

_____, ____ de _____ de 201_