

JOANA COUTINHO DE SOUSA

**Estudo do sistema Pentacam para Diagnóstico  
Oftalmológico**

Lisboa

2009



Departamento de Física

# **Estudo do sistema Pentacam para Diagnóstico Oftalmológico**

(Estudo Clínico)

**Joana Coutinho de Sousa**

Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica

Universidade Nova de Lisboa

Dissertação Apresentada para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia  
Biomédica

Orientador: Prof. Paulo Ribeiro

Co-Orientador: Dr. Alberto Cardoso

2009



Dedicado

*À minha inesquecível avó Alzira*



# Agradecimentos

---

Aos meus pais pela educação e orientação que me proporcionaram, colaborando para a minha formação, personalidade e carácter. E ainda pelas suas magníficas amizades, que nem todos os filhos têm oportunidade de se gabarem de as terem! Isto é um simples agradecimento, porque na realidade não há prosa nem poesia que agradeça aquilo que vocês fizeram, fazem e farão por mim! Sem vocês nunca teria chegado onde cheguei, nem nunca seria quem sou!

Ao meu avô materno, ao meu tio Fernando e à Lúcia que sempre me apoiaram nas minhas decisões e acima de tudo pelas suas grandes amizades. E, ainda, à minha tia Fátima e à Fátima pelo grande apoio que me disponibilizaram no início da faculdade, ao meu tio Santos e à minha tia Rosa pela sua amizade, mas também por aquelas mousses de chocolate e geleias deliciosas, que me foram adoçando a boca nestes anos que vivi em Lisboa. Muito Obrigada a vocês, Família!

A todos os meus amigos pelas suas amizades, com um especial carinho e, jamais inesquecíveis, à Ana, Marco e Miguel pelos cinco anos que me proporcionaram cheios de divertimento, conversas, trabalho e amizades. À Mara pela enorme confiança que deposita em mim; à Su e Sara; ao Rui que partilhou comigo as tarefas domésticas nestes anos vividos em Lisboa e pelas conversas no corredor da “casa do povo” até às tantas da madrugada e, ainda, ao Carlos que, apesar de nos conhecermos há pouco tempo, tem sido um apoio e uma companhia especial nestes últimos tempos. A todos um enorme obrigada!

A todos os meus orientadores que me aconselharam e orientaram neste projecto, especialmente ao Professor Paulo Ribeiro que sempre me apoiou neste projecto, entusiasmando e animando nos momentos mais difíceis e ao Doutor Cardoso. Muito Obrigada!

Ao pessoal técnico do Hospital Egas Moniz, onde todos os exames, analisados neste trabalho, foram realizados, com um especial agradecimento ao Luís Sobral e à Sandra.

**A Todos um Muito Obrigado!!!**





**“A satisfação está no esforço feito para alcançar o  
objectivo e não em tê-lo alcançado.”**

Gandhi



# Resumo

---

Neste trabalho realizou-se um estudo clínico conducente à obtenção duma relação entre a densidade óptica do cristalino e os parâmetros fluxo, vácuo e potência de ultra-sons, utilizados na cirurgia da catarata – facoemulsificação – de forma a adequar este procedimento cirúrgico a cada patologia de catarata. Para tal, foi utilizado o sistema de diagnóstico oftalmológico Pentacam, para se mediram as densidades ópticas a 23 pacientes e classificar cada catarata em graus através de dois sistemas de classificação: o LOCS III, que classifica as cataratas numa escala de 0 a 6, segundo o tom de cor do núcleo do cristalino, e o PNS, o qual, consoante o valor da densidade óptica do núcleo do cristalino, classifica as cataratas numa escala de 0 a 5. Feita a classificação, obteve-se a relação entre a densidade óptica e os graus da catarata, dos dois sistemas de classificação, que, por sua vez, foram relacionados com os parâmetros da facoemulsificação. Na sequência da classificação das cataratas em graus, não se verificou uma relação entre os valores de densidade óptica e os graus da catarata do sistema LOCS III; enquanto para o sistema PNS constatou-se uma relação linear crescente, até ao Grau 3. A partir deste grau não foi possível tirarem-se conclusões, uma vez que não se obtiveram casos clínicos para os graus 4 e 5. Relativamente à análise da densidade óptica com os parâmetros da facoemulsificação, verificou-se que a densidade aumenta com a diminuição do fluxo e do vácuo, considerando a potência de ultra-sons a mesma para todos os graus.

O facto de não se ter observado uma dependência entre a densidade óptica e os graus da catarata do sistema LOCS III, possibilitou concluir que a densidade óptica e a cor do cristalino são métodos diferentes de avaliação da catarata, sendo que um aumento da densidade óptica não implica um tom mais escuro do núcleo do cristalino. Como consequência, conclui-se, de igual modo, que o sistema LOCS III é um método subjectivo, ao passo que o sistema PNS demonstra ser um método mais objectivo. Relativamente ao estudo sobre a facoemulsificação, este mostrou que os valores de fluxo e de vácuo diminuem com o aumento da densidade óptica do cristalino. Tal facto revela ser possível a extracção das cataratas minimizando-se o uso dos ultra-sons, evitando, assim, danos nas estruturas oculares. Acresce-se ainda a esta análise que, quando usado o sistema LOCS III no diagnóstico e avaliação das cataratas, as pupilas devem estar dilatadas, no sentido de os valores dos parâmetros da facoemulsificação serem os mais correctos para a avaliação de cada caso clínico.

**Conceitos-Chave:** sistema Oculus Pentacam, densidade óptica do cristalino, LOCS III, PNS, facoemulsificação, FACO fluxo, vácuo e potência de ultra-sons.



# Abstract

---

In this work, a clinical study was carried out with the aim of optimizing the cataract surgery procedure, by investigating optical density behaviour with the flow, vacuum and ultrasound power parameters, which are used in the cataract surgery, the phacoemulsification. For this, the optical crystalline densities of 23 patients were measured using the Pentacam optical diagnostic system and each cataract classified in grades through two grading systems: i) LOCS III that ranks the cataracts in a scale from 0 to 6, based on lens colour, and ii) PNS which categorizes the cataracts in a scale from 0 to 5, depending on the nucleus density value. The crystalline lens density has been related with the cataract grade for both systems and the cataract grades associated to the phaco parameters values. As a result of cataract grading, no relation between lens optical density and LOCS III grades has been observed, while for the PNS grading an increase linear relationship up to grade 3 was found. Above this grade no more outlines were taken out, because no clinical cases in grades 4 and 5 were obtained. With respect to the nucleus density's dependence with the phaco parameters, it was established that the optical density increases with the flow and vacuum decrease, being the ultrasound power values the same for all cataract grades.

The lack of relation between lens density and the LOCS III grades arises from the nature of these different assessment methods, showing that an increase of lens density doesn't imply a darker tone in lens colour, or vice versa. As consequence of this outcome, the LOCS III cataract grading revealed to be less accurate than PNS with respect to cataract grading. From the phacoemulsification process analysis, the ascertained relation between density values and phaco parameters revealed to be possible to extract cataracts minimizing the ultrasound's use, avoiding hazards in the eye's structures. In addition, it was also observed that, using the LOCS III grading, the pupils must be dilated in order that the phaco parameters to be correctly evaluated according to lens status.

**Key-concepts:** Oculus Pentacam system, crystalline optical density, LOCS III, PNS, phacoemulsification flow, vacuum and ultrasound power.



# Índice

---

Índice de Figuras.....	xix
Índice de Tabelas .....	xxv
Lista de Abreviaturas .....	xxix
Capítulo 1 .....	1
Introdução.....	1
Capítulo 2 .....	4
Revisão da Literatura .....	4
2.1. O Olho Humano .....	4
2.1.1- Anatomia do olho humano .....	4
2.1.2. O Cristalino.....	7
2.2. A Catarata .....	10
2.2.1. Tipos de Catarata .....	11
2.2.2. Sistemas de Classificação de Catarata.....	13
2.3. Cirurgia da Catarata.....	17
2.3.1. Técnica da Facoemulsificação .....	18
Capítulo 3 .....	23
O Sistema Pentacam .....	23
3.1. Princípio de Medição .....	24
3.2. Aquisição das Imagens .....	25
3.3. Imagens Scheimpflug .....	27
3.3.1. Avaliação da Densidade Óptica .....	28
Capítulo 4 .....	32
Metodologia.....	32
4.1. População estudada.....	32
4.2. Medição da Densidade Óptica.....	33

4.2.1. Medição Manual.....	34
4.2.2. Medição Automática .....	35
4.3. Classificação das Cataratas em Graus .....	35
4.3.1. Sistema de classificação LOCS III.....	35
4.3.2. Sistema de classificação PNS .....	36
4.4. Procedimento da Facoemulsificação .....	36
4.5. Análise Estatística.....	37
4.5.1. Relação da densidade óptica com os sistemas de classificação .....	38
4.5.2. Relação da densidade óptica com os parâmetros da facoemulsificação .....	38
Capítulo 5 .....	39
Resultados e Discussão .....	39
5.1. Relação da densidade óptica com o LOCS III e PNS.....	39
5.1.1. Grupo com Pupilas Normais .....	40
5.1.2. Grupo com Pupilas Dilatadas.....	53
5.1.3. Comparação entre os Grupos Estudados .....	60
5.2. Relação da densidade óptica com os parâmetros da Facoemulsificação .....	62
5.2.1. Parâmetros da Facoemulsificação .....	63
5.2.2. Grupo com Pupilas Normais .....	68
5.2.3. Grupo com Pupilas Dilatadas.....	69
5.2.4. Comparação entre os Grupos Estudados .....	70
Capítulo 6 .....	72
Conclusão .....	72
6.1. Conclusões Finais .....	72
6.2. Melhoramentos e Estudos Futuros .....	74
6.2.1. Melhoramentos.....	74
6.2.2. Estudos Futuros.....	74
Bibliografia.....	77



Apêndices .....	82
Anexos.....	89



# Índice de Figuras

---

Figura 2.1: Anatomia do olho humano (29). (Adaptado).....	5
Figura 2.2: Visualização anterior do processo do corpo ciliar mostrando a zonula ligada à lente do cristalino. A zonula em forma de coluna (A) do lado do processo ciliar (B), os quais se encontram num único local, segurando a lente do cristalino (29). (Adaptado) .....	8
Figura 2.3: Representação da cápsula do cristalino humano, com os respectivos valores de espessura nas diferentes zonas (1). (Adaptado).....	9
Figura 2.4: Representação sagital do cristalino. As setas indicam a direcção na qual as células migram do epitélio para o córtex (1). (Adaptado) .....	9
Figura 2.5: Imagem sagital de uma catarata subcapsular anterior, obtida pelo sistema Pentacam. ....	12
Figura 2.6: Catarata nuclear obtida por imagem sagital do sistema Pentacam. ....	13
Figura 2.7: Imagem de uma catarata cortical, num corte sagital, obtida pelo sistema Pentacam. ....	13
Figura 2.8: Imagens padrão do LOCS III. ON1 ao ON6 e CN1 ao CN6 representam o padrão para a opalescência e cor, respectivamente. C1 ao C5 são as imagens padrão para cataratas corticais e P1 ao P5 para as cataratas subcapsulares (37). ....	14
Figura 2.9: Relação entre densidade óptica medida no sistema Pentacam e o sistema LOCS III. a) Opalescência nuclear. b) Cor Nuclear (26). (Adaptado) .....	16
Figura 2.10: As várias etapas do procedimento da facoemulsificação (43). (Adaptado) .....	18
Figura 2.11: Representação do pedal da facoemulsificação e suas posições (44).....	20
Figura 2.12: Relação entre o sistema LOCS III e a energia dos ultra-sons da facoemulsificação. a) ON vs energia. b) CN vs energia (15). (Adaptado) .....	21
Figura 2.13: Relação entre o grau da catarata, baseado na densidade óptica, do sistema PNS e a energia dos ultra-sons na facoemulsificação (27). (Adaptado).....	22
Figura 3.1: O sistema Pentacam (42). (Adaptado) .....	23
Figura 3.2: Sistema de Rotação (42). (Adaptado) .....	24
Figura 3.3: a) Princípio de Scheimpflug. b) Princípio convencional com profundidade de foco limitada.....	25
Figura 3.4: Janela de inicialização do exame do programa do sistema Pentacam (42). (Adaptado).....	26
Figura 3.5: Imagem Scheimpflug 3D do meridiano 106°-286°, do sistema Pentacam. ....	27

Figura 3.6: Box que permite ajustar as propriedades da imagem Scheimpflug, no sistema Pentacam. ....	27
Figura 3.7: Imagem Scheimpflug e quantificação óptica através do gráfico de densidade. ....	28
Figura 3.8: Medição da densidade óptica numa área, no programa do sistema Pentacam. ....	29
Figura 3.9: Medição da densidade óptica numa linha, no sistema Pentacam.....	30
Figura 3.10: Representação do programa PNS.....	31
Figura 4.1: Janela de inicialização do exame do sistema Pentacam. No lado superior esquerdo a posição da câmara Scheimpflug e no lado inferior a imagem Scheimpflug representando a orientação do eixo Z. Nesta imagem, a linha a vermelho representa o plano de foco e o ponto o ápice da córnea. Em cima e na zona central encontra-se a imagem da pupila, onde estão representados os planos horizontais e verticais. Ainda na região central, mas em baixo encontra-se o ecrã de alinhamento, com as setas a indicarem o sentido em que o <i>joystick</i> deve ser movimentado. O varrimento inicia-se quando os planos X, Y e Z estiverem alinhados (42). (Adaptado).....	33
Figura 4.2: Módulo imagens Scheimpflug do sistema Pentacam. No centro é apresentada a imagem Scheimpflug do segmento anterior do olho e cristalino e do lado direito o gráfico de densidade. As linhas coloridas na imagem delimitam a área que se pretende medir – cristalino com uma linha azul e respectivo núcleo com uma linha a vermelho. A tabela apresentada devolve os valores de densidade média e máxima, em percentagem, e cada coluna colorida corresponde à respectiva área colorida desenhada na imagem Scheimpflug. ....	34
Figura 4.3: Imagem Scheimpflug e do lado direito o programa <i>PNS</i> . Este programa consiste numa janela, na qual está representada, no centro, uma imagem da catarata; no lado superior direito, o grau da mesma; no centro do lado direito os valores de densidade média e máxima e no lado inferior direito, as coordenadas do anel na imagem da catarata, valores do diâmetro, altura, curvaturas anterior e posterior da região medida e volume da catarata. ....	35
Figura 4.4: Imagens padrão do sistema LOCS III para a cor do núcleo do cristalino (10). Este conjunto de imagens padrão é o utilizado para a classificação de imagens padronizadas de opacidade. ON1 a ON6 e CN1 e CN6 são as imagens padrão para a opalescência e cor nuclear, respectivamente (10). (Adaptado) .....	36
Figura 5.1: Representação gráfica da relação da densidade óptica com os graus CN do LOCS III, no modo manual, para o grupo com pupilas normais. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima.....	40

Figura 5.2: Representação gráfica da relação da densidade óptica com os graus CN do LOCS III, no modo automático, para o grupo com pupilas normais. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima. ....	41
Figura 5.3: Comparação do número de casos clínicos entre os modos manual e automático, para o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas normais. ....	43
Figura 5.4: Comparação dos valores de densidade média (%) entre os modos manual e automático, para o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas normais. ....	44
Figura 5.5: Comparação entre os modos manual e automático dos resultados obtidos para a densidade máxima, com o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas normais. ....	45
Figura 5.6: Representação gráfica da relação da densidade óptica com os graus do sistema PNS, no modo manual, para o grupo com pupilas normais. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima. ....	46
Figura 5.7: Representação gráfica da relação da densidade óptica, medida no modo automático, com os graus da catarata do sistema PNS. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima. ....	46
Figura 5.8: Comparação do número de casos clínicos entre os modos manual e automático, para o sistema PNS, no grupo com pupilas normais. ....	49
Figura 5.9: Comparação dos valores de densidade óptica média entre os modos manual e automático, para o sistema PNS, no grupo com pupilas normais. ....	49
Figura 5.10: Comparação dos valores de densidade óptica máxima entre os modos manual e automático, para o sistema PNS, no grupo de pupilas normais. ....	50
Figura 5.11: Comparação do número de casos clínicos entre os sistemas LOCS III e PNS, no grupo com pupilas normais. ....	51
Figura 5.12: Comparação dos valores de densidade óptica média entre os sistemas LOCS III e PNS, no grupo com pupilas normais. a) Modo Manual. b) Modo Automático. ....	52
Figura 5.13: Comparação dos valores de densidade óptica máxima entre os sistemas LOCS III e PNS, no grupo com pupilas normais. a) Modo Manual. b) Modo Automático. ....	52
Figura 5.14: Representação gráfica da relação da densidade óptica, medida manualmente, com os graus do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima. ....	54
Figura 5.15: Representação gráfica da relação entre a densidade óptica, medida no modo automático, e os graus do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima. ....	54

Figura 5.16: Comparação do número de casos clínicos entre os modos manual e automático, para os sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas dilatadas. ....	57
Figura 5.17: Comparação entre os valores de densidade óptica média (%) nos modos manual e automático, para o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas dilatadas. ....	58
Figura 5.18: Comparação dos valores de densidade óptica máxima (%) adquiridos no modo manual, com os obtidos no modo automáticos, para o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas dilatadas. ....	58
Figura 5.19: Comparação entre os valores de densidade óptica nos modos manual e automático, para o sistema PNS, no grupo com pupilas dilatadas. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima. ....	59
Figura 5.20: Comparação do número de casos clínicos entre o grupo de pupilas normais e o de pupilas dilatadas. a) Grupo de pupilas normais. b) Grupo de pupilas dilatadas. ....	60
Figura 5.21: Comparação dos valores de densidades médias (%), nos graus de catarata do sistema LOCS III CN, entre o grupo com pupilas normais e o grupo com pupilas dilatadas. a) Grupo de pupilas Normais. b) Grupo com pupilas dilatadas. ....	61
Figura 5.22: Comparação dos valores de densidades máximas (%), nos graus de catarata dos sistema LOCS III CN, entre o grupo com pupilas normais e o grupo com pupilas dilatadas. a) Grupo com pupilas normais. b) Grupo com pupilas dilatadas. ....	61
Figura 5.23: Representação do mecanismo do fluxo no tubo da FACO com fluidos. ....	63
Figura 5.24: Representação gráfica dos valores do fluxo (cc/min) em cada grau da catarata. ....	64
Figura 5.25: Representação do mecanismo do vácuo no procedimento da FACO. ....	64
Figura 5.26: Representação gráfica dos valores do vácuo (mmHg), em cada grau da catarata. ....	64
Figura 5.27: Representação do mecanismo da emulsificação no procedimento da FACO. ....	65
Figura 5.28: Representação gráfica do comportamento da densidade óptica média (%), adquirida nos modos manual e automático, com os dois conjuntos que integram os respectivos valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas normais. ....	68
Figura 5.29: Representação gráfica do comportamento da densidade óptica média (%), nos modos manual e automático, com os agrupamentos relativos aos valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas dilatadas. ....	69
Figura 5.30: Comparação dos resultados obtidos entre os dois grupos de pacientes, tanto para os modos manual como automático. a) Grupo com pupilas normais. b) Grupo com pupilas dilatadas. ....	71

Figura 6.1: Mapa colorido referente à profundidade da câmara anterior do olho, devolvido pelo sistema Pentacam. No lado esquerdo são mostrados os dados gerais topométricos do paciente e no centro o mapa colorido com os valores da profundidade da câmara anterior do olho, em mm, nas várias zonas da córnea. ....	75
Figura 6.2: Módulo de Paquimetria do sistema Pentacam. No lado direito, os dados topométricos gerais do paciente e mapa colorido relativo à espessura da córnea. Do lado esquerdo em cima encontra-se representado o comportamento da córnea, em termos gráficos, ao longo de vários diâmetros. Neste mesmo lado, mas em baixo, são representados os índices e a classificação do queratocone,.....	75
Figura 6.3: Módulo de análise de Zernike do sistema Pentacam. ....	76
Figura A I-1: Representação dos valores da potência dos ultra-sons em percentagem com os seus correspondentes em unidades de Watts. ....	91





# Índice de Tabelas

---

Tabela 4.1: Valores dos parâmetros da facoemulsificação, segundo o protocolo do cirurgião. ....	37
Tabela 4.2: Agrupamentos, respectivos graus de catarata e valores de fluxo e de vácuo.....	38
Tabela 5.1: Valores estatísticos para a densidade média, com o LOCS III, no grupo com pupilas normais. ....	41
Tabela 5.2: Valores estatísticos para a densidade máxima, com o LOCS III, no grupo com pupilas normais. ....	41
Tabela 5.3: Densidade Média em cada grau CN do LOCS III, para os valores manuais e automáticos no grupo de pupilas normais. ....	42
Tabela 5.4: Densidade Máxima em cada grau CN do LOCS III, para os valores manuais e automáticos no grupo de pupilas normais. ....	42
Tabela 5.5: Valores estatísticos para a densidade óptica média, com o sistema PNS, no grupo com pupilas normais. ....	47
Tabela 5.6: Valores estatísticos para a densidade óptica máxima, com o sistema PNS, no grupo com pupilas normais. ....	47
Tabela 5.7: Valores de densidade óptica média nos modos manual e automático, para cada grau de catarata do sistema PNS, no grupo de pupilas normais. ....	48
Tabela 5.8: Valores de densidade óptica máxima nos modos manual e automático, para cada grau de catarata do sistema PNS, no grupo de pupilas normais. ....	48
Tabela 5.9: Valores estatísticos da densidade óptica média, relativos ao sistema LOCS III no grupo com pupilas dilatadas. ....	54
Tabela 5.10: Valores estatísticos da densidade óptica máxima, para o sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas. ....	55
Tabela 5.11: Valores de densidade óptica média, medida nos modos manual e automático, para os graus do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas. ....	56
Tabela 5.12: Valores de densidade óptica máxima, nos modos manual e automático, para os graus do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas. ....	56
Tabela 5.13: Valores de fluxo e vácuo em cada agrupamento. ....	67
Tabela 5.14: Valores de densidade média (%) em cada grau da catarata do sistema LOCS III e correspondente agrupamento e valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas normais. ....	68

Tabela 5.15: Valores de densidade óptica média (%) em cada agrupamento com os respectivos valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas dilatadas..... 70

Tabela 5.16: Valores de densidade média (%) em cada grau da catarata do sistema LOCS III e correspondente agrupamento e valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas dilatadas..... 70

Tabela A I-1: Representação dos valores das densidades ópticas médias medidas nos 9 cortes seleccionados no sistema Pentacam. Estas medições são relativas ao sistema LOCS III para o grupo com pupilas normais. .... 83

Tabela A II-1: Representação dos valores das densidades ópticas médias medidas nos 9 cortes seleccionados no sistema Pentacam. Estas medições são relativas ao sistema PNS para o grupo com pupilas normais. .... 84

Tabela A III-1: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade média medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema LOCS III, para o grupo com pupilas normais. .... 85

Tabela A III-2: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade máxima medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema LOCS III, para o grupo com pupilas normais. .... 85

Tabela A IV-1: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade média medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema PNS, para o grupo com pupilas normais. .... 85

Tabela A IV-2: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade máxima medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema PNS, para o grupo com pupilas normais..... 85

Tabela A V-1: Representação dos valores das densidades ópticas médias medidas nos 9 cortes seleccionados no sistema Pentacam. Estas medições são relativas ao sistema LOCS III para o grupo com pupilas dilatadas. .... 86

Tabela A VI-1: Representação dos valores das densidades ópticas médias medidas nos 9 cortes seleccionados no sistema Pentacam. Estas medições são relativas ao sistema PNS para o grupo com pupilas dilatadas. .... 87

Tabela A VII-1: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade média medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema LOCS III, para o grupo com pupilas dilatadas..... 88

Tabela A VII-2: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade máxima medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema LOCS III, para o grupo com pupilas dilatadas.....	88
--	----



# Lista de Abreviaturas

---

Box – Caixa

C – Catarata Cortical

cc – centímetros cúbicos

CCD – Dispositivo de Carga Acoplada (*Charge Coupled Device*)

CN – Cor Nuclear

D.O. – Densidade Óptica

Dpt - Dioptrias

DP – Desvio-Padrão

FACO – Facoemulsificação

HR – Alta Resolução (*High Resolution*)

LED – Díodo Emissor de Luz (*Light Emitting Diode*)

LIO – Lentes Intra-Oculares

LOCS – Sistema de classificação das opacidades do cristalino (*Lens Opacities Classification System*)

mmHg – milímetros de Mercúrio

OCCCGS – Sistema Clínico de Classificação e Gradação das cataratas de Oxford (*The Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System*)

ON – Opalescência Nuclear

P – Catarata Subcapsular

PIO – Pressão intra-ocular

PNS – Sistema de classificação em graus do núcleo do cristalino do sistema Pentacam (*Pentacam Nucleus Staging*)

SPSS – Programa Estatístico para as Ciências Sociais (*Statistical Package for the Social Sciences*)

T – Transmitância da Luz

Threshold - Limite



## *Introdução*

---

A catarata é a principal causa de cegueira em todo o mundo. De acordo com a Organização Mundial de Saúde, em 2006, existiam 45 milhões de pessoas invisuais, sendo 40% causadas pela catarata. Contudo, esta mesma organização prevê que, em 2020, o número de pessoas invisuais por catarata aumente para 50 milhões.

A catarata é uma opacificação do cristalino, a qual dispersa, ou, até mesmo, impede a passagem da luz até à retina, evitando a formação de uma imagem nítida nesta região do globo ocular. As causas para o seu desenvolvimento são diversas, nomeadamente o envelhecimento; a diabetes ou a exposição excessiva aos raios ultra-violeta (1; 2; 3; 4). As cataratas podem ser classificadas segundo três critérios: tempo de ocorrência (adquiridas ou congénitas); morfologia (subcapsular, cortical ou nuclear) ou maturidade (1; 2; 3; 4; 5; 6). Face às diversas formas de classificar uma catarata, ao longo dos anos, têm vindo a ser desenvolvidos sistemas de classificação da catarata em graus, no sentido de uniformizar a sua classificação. Por exemplo, Otto Hockwin (7) classificou as cataratas apoiando-se num gráfico de densidade óptica do cristalino, utilizando imagens Scheimpflug do segmento anterior do olho; Leo Chylack (8) desenvolveu um sistema de classificação, o LOCS (Sistema de classificação das opacidades do cristalino), baseando-se na cor do núcleo do cristalino, e Sparrow (9) que classificou as cataratas tendo por base os mapas de Munsell. Apesar de, actualmente, o sistema LOCS, particularmente o LOCS III (10), ser o mais utilizado na prática clínica, alguns investigadores são da opinião que este sistema de classificação é subjectivo, pelo que, se torna importante e necessário melhorá-lo ou, até mesmo, desenvolver outros mais objectivos.

Actualmente, o procedimento mais frequente para tratar a catarata é a cirurgia, através da facoemulsificação. A Organização Mundial de Saúde estima que já foram realizadas, até hoje, aproximadamente 20 milhões de cirurgias a nível mundial. Em Portugal, por exemplo, de acordo com o Presidente da Sociedade Portuguesa de Oftalmologia, em 2006, foram efectuadas 73743 cirurgias à catarata, sendo que este número aumentou para 81935 em 2007 e para 107800 em 2008. Estes números mostram a elevada percentagem de pacientes que necessitam de cirurgia à catarata, revelando a importância de desenvolver excelentes tecnologias de cirurgia.

A facoemulsificação, também referida como FACO, é a técnica cirúrgica mais utilizada e com maior sucesso hoje em dia, principalmente em pacientes com idade superior a 65 anos. Neste procedimento cirúrgico são aplicados ultra-sons, através de uma sonda introduzida na câmara anterior do olho, os quais emulsionam o núcleo do cristalino em fragmentos nucleares, para serem aspirados pela mesma sonda, através de um processo de sucção (1; 11; 12). Apesar desta técnica permitir ao paciente um resultado visual excelente, bem como uma rápida recuperação do mesmo, o seu sucesso depende fortemente das propriedades mecânicas da lente do cristalino (13), isto porque os núcleos duros, ou seja, os núcleos com densidade óptica elevada, exigem um aumento da potência dos ultra-sons e, consequentemente, um aumento da energia dissipada no interior do globo ocular. Desta forma, este aumento da temperatura no globo ocular pode danificar estruturas delicadas do olho, designadamente a perda das células endoteliais da córnea, stress na zonula ou até mesmo danos na cápsula do cristalino (13; 14; 15). Além dos ultra-sons, o fluxo e o vácuo, que estão envolvidos no processo de circulação de fluidos e aspiração respectivamente, são responsáveis pelas alterações na pressão intra-ocular, pelo que, deverão ser devidamente controlados, evitando o colapso da câmara anterior do olho (1; 11; 12).

Assim, para todo o processo que compreende a catarata, desde a sua classificação até à cirurgia, é muito importante que se disponibilizem equipamentos médicos que auxiliem no diagnóstico da mesma e na planificação personalizada da respectiva cirurgia. Neste sentido, em 2004, a Oculus desenvolveu um sistema de diagnóstico oftalmológico, designado de Pentacam, que além de devolver informação topométrica da córnea (16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25), através das suas imagens Scheimpflug, permite medir, manualmente, a densidade óptica do núcleo do cristalino, numa escala de 0 a 100, e, automaticamente, por meio do seu novo programa denominado de Sistema de classificação em graus do núcleo do cristalino do sistema Pentacam (PNS) (26; 27; 28). Este novo programa possibilita,



igualmente, classificar a catarata em graus, consoante o valor da densidade óptica do núcleo do cristalino (27).

Desta forma, neste trabalho foi usada uma das mais avançadas tecnologias em diagnóstico oftalmológico, ou seja, o sistema Pentacam, com o objectivo de melhorar a técnica da facoemulsificação, estudando-se a dependência da densidade óptica do cristalino com os parâmetros da facoemulsificação – fluxo, vácuo e potência de ultra-sons. Através do sistema Pentacam mediu-se a densidade óptica do cristalino, correlacionando-a com dois sistemas de classificação de catarata em graus, o LOCS III e o PNS. Esta correlação facultou, posteriormente, o estudo da relação entre cada grau da catarata e, consequente valor de densidade óptica, com os valores dos parâmetros da facoemulsificação. Com este estudo pretendeu-se ajudar a tornar o plano da facoemulsificação mais personalizado a cada paciente, diminuindo os problemas que lhe estão associados. Além disto, o facto de na literatura apenas ter sido estudada a relação entre a potência dos ultra-sons e a densidade, também motivou este trabalho, no qual todos os parâmetros da facoemulsificação são estudados com a densidade óptica do cristalino.

Esta tese está organizada em cinco secções. No capítulo 2 descrever-se-á em termos gerais a anatomia do olho e detalhadamente a do cristalino. Ainda neste capítulo 2, será feita uma revisão das causas associadas à catarata, sistemas de classificação e estudos realizados neste campo. No final deste mesmo capítulo é também apresentado um enquadramento histórico da cirurgia da catarata, o procedimento da facoemulsificação e problemas associados e, ainda, uma revisão de alguns estudos publicados, os quais relacionam a densidade óptica do cristalino com a potência dos ultra-sons. No Capítulo 3 será descrito o sistema Pentacam e apresentado, pormenorizadamente, o módulo que permite medir a densidade óptica do cristalino. A metodologia seguida neste estudo é apresentada no capítulo 4; os resultados obtidos e discussão dos mesmos no capítulo 5. No capítulo 6 serão feitas as conclusões do trabalho, melhoramentos do mesmo e estudos futuros.



### *Revisão da Literatura*

---

Este capítulo tem como objectivo rever determinados conceitos e assuntos que serão utilizados ao longo deste trabalho.

O capítulo está dividido em três partes. Na primeira parte descrever-se-á, em termos gerais, o sistema óptico do olho humano, e, com mais detalhe, a anatomia, histologia e caracterização óptica do cristalino. Numa segunda parte do capítulo serão revistas as diversas formas de classificar uma catarata e de que forma os sistemas de classificação têm vindo a evoluir com o tempo e tecnologia. A última parte do capítulo terá como foco principal a cirurgia da catarata: evolução da técnica ao longo dos anos, tecnologia que lhe está associada e revisão de estudos sobre a relação entre o grau da catarata e os parâmetros da facoemulsificação.

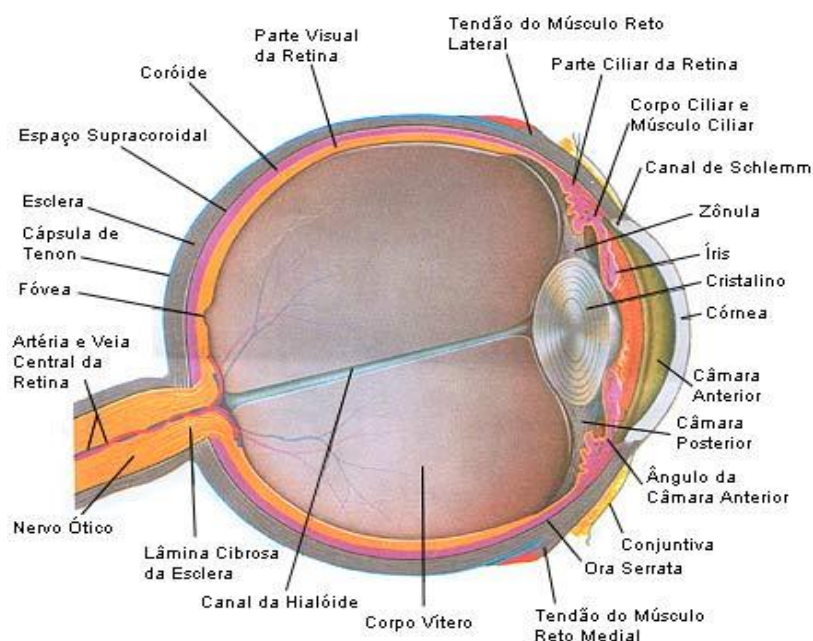
#### **2.1. O Olho Humano**

Formada por um sistema complexo, que incluiu não só a capacidade de detectar a luz, mas também de formar uma imagem e interpretá-la, a visão humana representa um dos cinco sentidos que conferem a inúmeros seres vivos, nomeadamente ao Homem, a capacidade de perceberem e de se relacionarem com o Mundo que os rodeia.

##### ***2.1.1- Anatomia do olho humano***

O olho humano (Figura 2.1) é responsável por proporcionar o sentido da visão, representando um complexo sistema óptico capaz de detectar e transformar essa percepção em impulsos eléctricos, a serem processados e interpretados a nível cerebral.

O olho apresenta uma forma, aproximadamente, esférica possuindo como diâmetros vertical e horizontal 23mm e 23,5mm respectivamente e um volume de, sensivelmente,  $3\text{cm}^3$ . É constituído por um segmento anterior, transparente, e compreende todas as estruturas oculares desde a córnea até à superfície anterior do cristalino; e por um segmento posterior, opaco, constituído desde a superfície posterior do cristalino até à retina, com um diâmetro e um raio de curvatura superior ao segmento anterior (29). O segmento anterior é, ainda, dividido em duas câmaras: uma anterior e outra posterior. A câmara anterior ocupa o espaço entre a córnea e a íris, enquanto a câmara posterior compreende o espaço desde a íris até à superfície anterior do cristalino. Ambas as câmaras são preenchidas pelo humor aquoso, que, além de manter a forma do globo ocular, fornece o oxigénio e nutrientes ao cristalino e à córnea. O segmento posterior, também designado de cavidade vítrea, contém o chamado humor vítreo, substância clara e gelatinosa, que ajuda na prevenção dos colapsos do globo ocular, mantendo a retina empurrada contra a coróide. Ao contrário do humor aquoso, que é constantemente reposto, o humor vítreo é formado durante a vida embrionária e não mais substituído (29; 30).



**Figura 2.1: Anatomia do olho humano (29). (Adaptado)**

Os principais componentes que constituem o olho são: a córnea, íris, cristalino e a retina (Figura 2.1). A córnea, íris e cristalino são responsáveis pela focagem da imagem na retina, sendo esta última, através dos fotorreceptores nela contidos, responsável pela transdução da energia luminosa em energia eléctrica.

O globo ocular é formado por três camadas: externa, intermédia e interna. A única interrupção que existe entre elas é no segmento posterior, onde se localiza o nervo óptico (29).

A camada mais externa do globo ocular, também designada por túnica fibrosa, é constituída pela córnea e pela esclerótica. A primeira localizada na zona anterior do globo ocular cobre a íris, e é uma camada fibrosa transparente não vascularizada que recebe e refracta a luz de forma a formarem-se imagens nítidas na retina (Figura 2.1). A sua superfície anterior está em contacto directo com a lágrima e com a face posterior das pálpebras, enquanto a sua superfície posterior limita a câmara anterior do olho e está em contacto com o humor aquoso (29). A córnea apresenta uma forma curva e constitui o primeiro elemento refractivo do olho, com uma potência refractiva de, aproximadamente, 44 dioptrias (dpt). A sua superfície anterior apresenta uma forma elíptica, medindo 12,6mm no meridiano horizontal e 11,7mm no vertical, ao passo que a superfície posterior é circular com um diâmetro de, aproximadamente, 11,7mm. Em relação à sua espessura, esta não é uniforme em toda a córnea, sendo a zona periférica mais espessa, com 0,65mm, do que a zona central, com 0,52mm em espessura. Também a curvatura não é constante em toda a córnea, sendo a região central mais acentuada do que a região periférica, variando também nas respectivas superfícies. Assim, para o raio de curvatura na superfície anterior adopta-se um valor médio de 7,8mm para a região central, enquanto para a superfície posterior considera-se um raio de curvatura médio de 6,8mm (5; 29).

Desta forma, a córnea deve manter a pressão intra-ocular (PIO), suportar as estruturas internas do olho e resistir a traumas. Contudo, além das suas funções mecânicas, este componente do globo ocular desempenha duas funções muito importantes na visão, já que, é o elemento com maior potência refractiva e a sua transparência permite a passagem da luz até à retina.

A esclerótica, mais conhecida como “o branco do olho”, é uma camada de tecido conjuntivo denso que cobre todo o olho à excepção da córnea, conferindo ao globo ocular a sua forma, rigidez e protecção das suas porções internas (29).

A camada intermédia do olho é denominada de túnica vascular composta pela coróide, corpo ciliar e íris. A coróide é uma membrana fina que assenta sob a maioria da superfície interna da esclerótica, contendo inúmeros vasos sanguíneos, que fornecem à retina o sangue necessário. O corpo ciliar é formado por processos ciliares, que são dobras na superfície interna do corpo ciliar, cujos capilares segregam um fluído aquoso – o humor aquoso. O corpo ciliar é também constituído pelo músculo ciliar que suporta e foca o cristalino para a visão ao perto ou ao longe, alterando a sua forma. A íris representa a região colorida do globo ocular, possuindo uma arquitectura que lhe confere a capacidade de modificar o diâmetro da abertura

central, a pupila, de forma a controlar a quantidade de luz que entra no segmento posterior do olho (29).

A retina representa a camada mais interna do globo ocular, constituída por duas porções: uma externa de epitélio pigmentado (região não visual) e uma interna neuronal (visual) formada por fotorreceptores, os rods e os cones (29). A sua forma reduz a reflexão da luz e é o primeiro componente transdutor do sistema visual através do qual o processamento da imagem é realizado, maioritariamente, localmente pelos neurónios contidos na retina. Nesta região do globo ocular existe, ainda, uma área envaginada pelo nervo óptico, com ausência de fotorreceptores, criando-se o ponto cego no campo visual. Adjacente a esta área existe a mácula lútea, no interior da qual se encontra a fóvea, que representa o eixo óptico das lentes e a melhor zona de acuidade visual (29).

Além das estruturas anteriormente mencionadas, o globo ocular é também formado pelo cristalino (Figura 2.1), que é uma estrutura de lentes biconvexas transparentes, constituídas por numerosas camadas de fibras proteicas e elásticas, que focam os raios de luz na retina.

### ***2.1.2. O Cristalino***

O cristalino é a última região do globo ocular por onde a luz tem de atravessar. Esta estrutura é responsável por focar os raios luminosos na retina, facultando ao indivíduo a capacidade de visualizar objectos próximos e longínquos, de uma forma nítida.

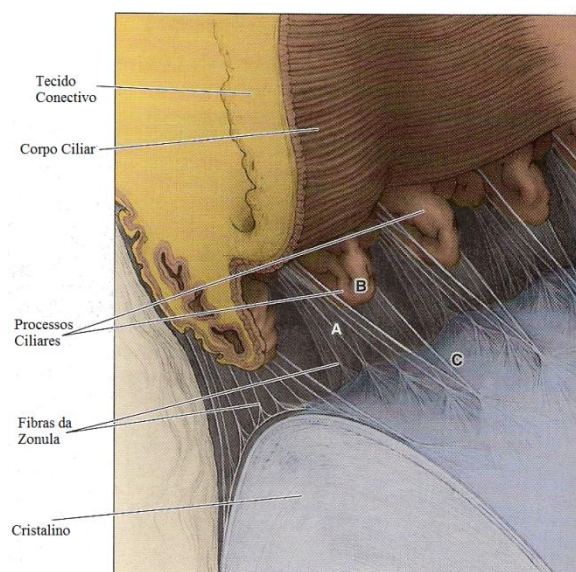
Devido essencialmente ao envelhecimento, o cristalino vai-se tornando menos transparente, formando uma catarata, a qual interfere na acuidade visual do indivíduo. Neste sentido, ao longo dos anos têm vindo a ser desenvolvidas investigações, com o objectivo de perceber os mecanismos bioquímicos envolvidos no processo de formação da catarata, para melhorar ou até mesmo criar novas técnicas de tratamento ou tecnologias que a combatam. Desta forma, o conhecimento anatómico e fisiológico do cristalino é muito importante, não só para entender as patologias que lhe estão associadas, mas também para desenvolver os respectivos tratamentos.

#### **2.1.2.1. Caracterização Macroscópica**

O cristalino apresenta uma estrutura biconvexa dotada de elevada transparência e elasticidade, características que se vão perdendo com a idade. Esta estrutura apresenta uma superfície anterior, com um raio de curvatura de, aproximadamente, 10mm e uma posterior, com raio de curvatura de, sensivelmente, 6mm (29). A sua espessura, isto é, a distância entre

o pólo anterior e o posterior, aumenta de 3,5mm no nascimento para, aproximadamente, 4,75mm em adulto, dependendo do seu estado de acomodação. Também o diâmetro equatorial aumenta desde o nascimento, com um valor de 5mm, até à idade adulta, onde atinge um valor entre 9 a 10mm (1).

Na zona frontal do cristalino encontra-se a câmara anterior do olho e a íris. O cristalino está fixo ao corpo ciliar através da zonula. Esta estrutura actua na cápsula do cristalino, modificando a sua convexidade, de forma a convergir os raios luminosos na retina e, deste modo, possibilitar a formação de uma imagem nítida. Desta forma, quando o olho se encontra numa situação de repouso, o corpo ciliar puxa a lente do cristalino, aplanando-a, permitindo focar os objectos que se encontram longe. Para objectos mais próximos, a lente assume uma forma mais arredondada, por interferência da contracção do músculo ciliar, diminuindo a tensão dos ligamentos. Este processo é conhecido como acomodação e representa a capacidade do olho focar objectos ao longe ou ao perto, através de modificações na curvatura/convexidade da lente do cristalino (5; 29). O processo anteriormente descrito e respectivas estruturas envolvidas estão representados na Figura 2.2.



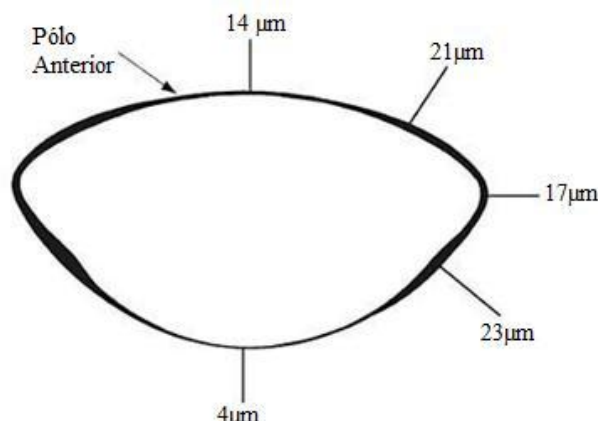
**Figura 2.2:** Visualização anterior do processo do corpo ciliar mostrando a zonula ligada à lente do cristalino. A zonula em forma de coluna (A) do lado do processo ciliar (B), os quais se encontram num único local, segurando a lente do cristalino (29). (Adaptado)

#### 2.1.2.1. Caracterização Microscópica

O cristalino é constituído por três estruturas: a cápsula, o epitélio e as fibras.

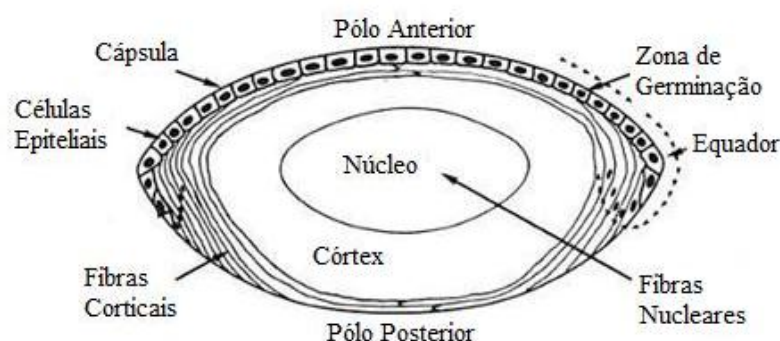
A cápsula é uma camada espessa, homogénea e rica em carboidratos, principalmente colagénio e glicoproteínas, que cobre a superfície epitelial, permitindo a passagem de pequenas moléculas tanto para o interior como para o exterior do cristalino. Esta camada é

mais espessa na zona anterior e posterior pré-equatorial e mais fina no pólo central posterior, como se pode verificar pela Figura 2.3.



**Figura 2.3:** Representação da cápsula do cristalino humano, com os respectivos valores de espessura nas diferentes zonas (1). (Adaptado)

Imediatamente a seguir à cápsula anterior, localiza-se o epitélio (Figura 2.4). Este é constituído por uma única camada de células, as quais são metabolicamente activas, apresentando assim mitoses. A máxima actividade destas células ocorre na região anterior do cristalino, a região de germinação (Figura 2.4). As células mais recentemente formadas migram para o equador, onde diferenciar-se-ão em fibras. Durante este processo vai ocorrer um aumento de proteínas celulares em cada célula fibrosa e, simultaneamente, vão-se perdendo os organelos, mitocôndrias e ribossomas. A perda destas estruturas celulares concede ao cristalino vantagens ópticas excelentes, uma vez que a luz pode passar por esta estrutura, em vez de ser absorvida ou dispersa por aquelas estruturas celulares (1).



**Figura 2.4:** Representação sagital do cristalino. As setas indicam a direcção na qual as células migram do epitélio para o córtex (1). (Adaptado)

Enquanto as células vão sendo depositadas, as anteriormente formadas vão-se aglomerando e compactando, ocupando as camadas mais antigas. Desta forma, as células mais velhas são produzidas durante a vida embrionária, formando os núcleos embrionário e fetal do cristalino, enquanto as células mais novas irão constituir o núcleo adulto (Figura 2.4). Além



disto, as fibras mais externas correspondem às mais recentes e constituem o córtex do cristalino (Figura 2.4) (1).

Assim, no indivíduo adulto, o cristalino é composto por células epiteliais e fibras, sendo formado por 65% de água e 35% de material proteico.

### 2.1.2.3. Caracterização Óptica

O cristalino possui uma potência refractiva entre +14,00dpt e +25,00dpt, seguindo uma distribuição normal (1; 31). Assim, este componente do globo ocular apresenta uma refração crescente desde a superfície anterior até ao seu núcleo, diminuindo a partir deste até à respectiva superfície posterior. Geralmente, considera-se um índice de refração de 1,4 na zona central e 1,36 na zona periférica. Contudo, com a idade, estes valores vão sendo alterados, devido ao aumento da água no interior do cristalino (1; 31).

## 2.2. A Catarata

Por definição, a catarata é uma opacificação do cristalino.

O cristalino é, maioritariamente, composto por água e proteínas, as quais possuem uma estrutura típica que possibilitam ao cristalino manter a sua transparência, permitindo a passagem da luz até à retina. Contudo, com o envelhecimento, a actividade mitótica vai diminuindo e, consequentemente, também o material proteico, o que conduz a um aumento da percentagem de água no interior do cristalino.

As verdadeiras causas para a formação de uma catarata continuam a não ser totalmente conhecidas. Geralmente, associa-se à catarata modificações nas estruturas das proteínas, que vão ocorrendo com a idade. Estas modificações consistem no entrecruzamento de proteínas, que, ao formarem estruturas maiores, se tornam não hidrossolúveis, opacificando o cristalino e, consequentemente, dispersando a luz (1). No entanto, esta alteração não é a única causa para o desenvolvimento de uma catarata. Esta pode, de igual modo, ser desenvolvida numa idade mais precoce devido à diabetes; à exposição excessiva aos raios ultra-violeta, os quais são um agente externo susceptível de formar radicais livres que podem danificar as fibras do cristalino (1); o tabaco; o uso de certos fármacos ou ainda problemas hereditários. Como exemplos desta diversidade de causas para a formação de uma catarata, em 2000, Cristopher et al. (32) estudaram os factores ambientais e genéticos no desenvolvimento de cataratas em gémeos, verificando que os factores hereditários não só desenvolvem cataratas nucleares, mas também corticais; enquanto, em 2007, Beneyto et al. (32) analisaram a densidade óptica do cristalino em pacientes diabéticos, constatando que os seus valores de densidade óptica eram

elevados, particularmente, na cápsula anterior do cristalino. Assim, a diabetes pode também ser a origem de uma catarata, visto que ela aumenta a concentração de glícidos no interior do cristalino, e, conseqüentemente, um aumento da concentração de água no interior dele, provocado pelo aumento da pressão osmótica. Desta forma, este aumento pode culminar num inchaço das fibras e, como tal, a destruição da arquitectura citoesquelética destas, opacificando o cristalino (1).

Pelos exemplos mencionados, facilmente se afere que existem diversas causas responsáveis pelo desenvolvimento de diferentes tipos de catarata.

### ***2.2.1. Tipos de Catarata***

As cataratas podem ser classificadas de acordo com o tempo de ocorrência, morfologia ou maturidade (34; 35).

#### **2.2.1.1. Tempo de ocorrência**

Segundo o tempo de ocorrência, as cataratas são classificadas como adquiridas ou congénitas, sendo que uma catarata adquirida pode ainda ser senil, secundária, traumática ou por radiação.

As cataratas senis estão associadas ao envelhecimento, representando, aproximadamente, 90% das cataratas. Este tipo de catarata pode afectar a visão de duas formas distintas: redução da nitidez da imagem ou a não identificação dos azuis e vermelhos de uma imagem.

##### **2.2.1.1.1. Redução da nitidez da imagem**

Quando uma catarata é pequena, a sua opacificação afecta exclusivamente uma pequena parte do cristalino, pelo que, neste caso, não são reconhecidas alterações na visão. No entanto, com o tempo e ainda que lentamente, a catarata tende a crescer, prejudicando cada vez mais a visão. Assim, num dado momento, a área opacificada é elevada, uma vez que a catarata aumentou de tamanho, tornando a visão desfocada e reduzida (2).

##### **2.2.1.1.2. Mudanças na cor do cristalino**

Devido, essencialmente, à idade, o cristalino tende a ficar menos transparente, adquirindo um tom acastanhado, dando à visão a mesma tonalidade. Inicialmente, esta coloração não causa problemas na visão, mas o seu tom vai aumentando, gradualmente com o tempo, provocando uma elevada dificuldade na leitura e na realização das actividades da

rotina. Apesar desta coloração do cristalino não interferir na nitidez das imagens transmitidas à retina, ela afecta a identificação dos azuis e dos vermelhos (2).

Relativamente às cataratas congénitas, estas podem aparecer no nascimento de uma criança ou serem desenvolvidas durante a infância, frequentemente nos dois olhos. Este tipo de catarata representa menos de 1% das cataratas e, por vezes, ela é tão pequena que não chega a afectar a visão. Contudo, se tal acontecer, o cristalino deve ser removido (5).

### 2.1.1.2. Morfologia

Segundo o critério de morfologia, as cataratas podem ser classificadas em três tipos: subcapsular, nuclear e cortical.

#### 2.1.1.2.1. Catarata Subcapsular

A catarata subcapsular, representada na Figura 2.5, desenvolve-se muito devagar e inicia-se como um pequeno grão, que vai opacificando a cápsula do cristalino, geralmente a posterior. Normalmente, enquanto a catarata não estiver totalmente desenvolvida, não são verificados quaisquer sintomas na visão; porém, quando crescida, a visão torna-se reduzida. Este tipo de catarata aparece com frequência em pacientes diabéticos ou ainda em indivíduos que usam esteróides (1; 2).

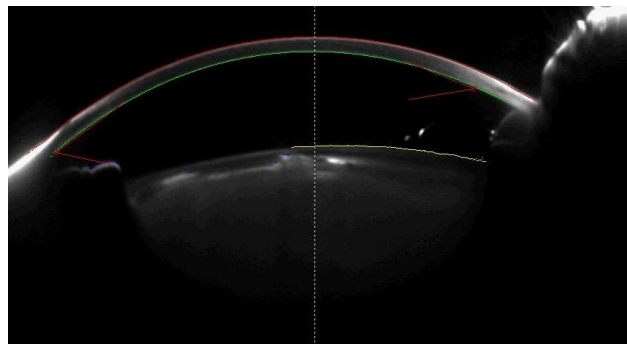


Figura 2.5: Imagem sagital de uma catarata subcapsular anterior, obtida pelo sistema Pentacam.

#### 2.1.1.2.2. Catarata Nuclear

A catarata nuclear é o tipo de catarata que mais frequentemente se observa. Como o nome indica, ela afecta o núcleo do cristalino, estendendo-se, posteriormente até ao córtex e cápsula do cristalino. Clinicamente, a catarata nuclear manifesta-se pela perda da visão ao longe e diminuição do contraste. Mais raramente, pode conduzir a alterações na percepção cromática. Neste tipo de catarata, a visão do indivíduo é melhor na penumbra do que em lugares luminosos, uma vez que pouca luz conduz a uma dilatação da pupila, permitindo a

passagem dos raios luminosos pela zona periférica do cristalino, a qual não está opacificada (1; 2). A Figura 2.6 apresenta uma catarata nuclear.

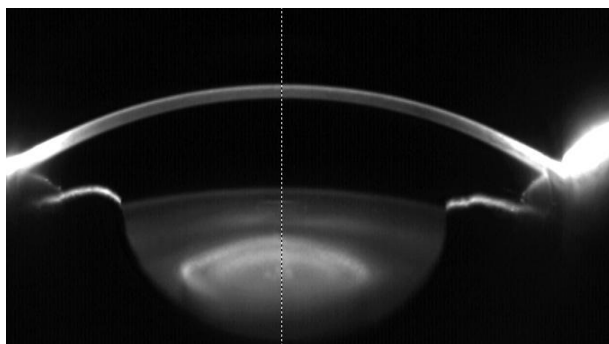


Figura 2.6: Catarata nuclear obtida por imagem sagital do sistema Pentacam.

#### 2.1.1.2.3. Catarata Cortical

A catarata cortical, representada na Figura 2.7, inicia-se com a forma de uma “fatia” no córtex do cristalino, muito semelhante a um raio de uma roda de bicicleta. Este raio estende-se desde o lado externo do cristalino até ao seu centro. Quando este é atingido, a catarata interfere na transmissão da luz, tornando a visão desfocada. A catarata cortical é, tipicamente, desenvolvida gradualmente; contudo, ela prejudica tanto a visão ao longe como ao perto, pelo que, geralmente, a cirurgia à mesma é a mais indicada, mesmo num estado precoce (1; 2).

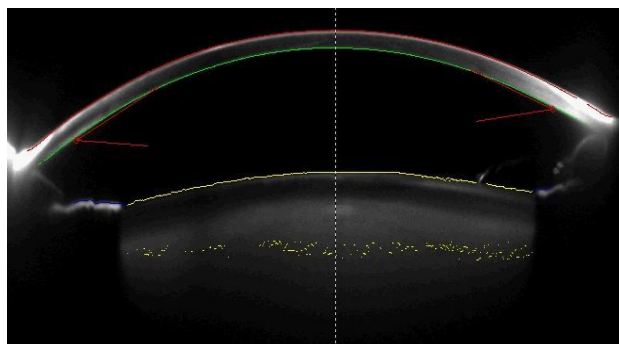


Figura 2.7: Imagem de uma catarata cortical, num corte sagital, obtida pelo sistema Pentacam.

#### 2.1.1.3. Maturidade

De acordo com a maturidade da catarata, esta pode ser classificada em incipiente, imatura, madura ou hipermadura, mediante o tamanho da área de opacificação.

#### 2.2.2. *Sistemas de Classificação de Catarata*

A classificação da opacidade do cristalino é importante não só para a prática clínica, mas também para estudos epidemiológicos ou para a avaliação de medições de prevenção. Desta forma, com este objectivo, têm vindo a ser desenvolvidos sistemas de classificação, os quais têm em consideração tanto o nível de opacificação do cristalino como a sua localização.

A maioria destes sistemas de classificação utiliza imagens obtidas por lâmpada de fenda para investigar a opacificação nuclear e imagens por retroiluminação para analisar cataratas corticais e subcapsulares. Apesar de se assistir a uma diversificação de sistemas de classificação, actualmente, os mais usados na prática clínica são o Sistema Clínico de Classificação e Graduação das cataratas de Oxford (OCCCGS) e o LOCS III.

O OCCCGS (9) utiliza uma lâmpada de fenda, usando um sistema decimal de classificação. A classificação padronizada deste sistema baseia-se nos mapas coloridos e densidade neutra de Munsell para classificar a cor do núcleo e a dispersão branca, respectivamente. As cataratas corticais são classificadas comparando o cristalino a ser analisado com um “segmento de sectores” padrão. Em relação às cataratas subcapsulares, estas são classificadas usando como referência padrão uma “escala de diâmetro”.

O LOCS III (10) foi desenvolvido em 1993 por Chylack et al. e adaptado do LOCS II (36). O que difere os dois sistemas é utilização de um sistema de classificação decimal em graus, com iguais intervalos, no LOCS III (10). Desta forma, o LOCS III é um sistema padrão, usado para classificar e comparar o tipo e severidade da catarata, no qual são utilizadas seis imagens padrão, obtidas por lâmpada de fenda, para classificar a cor nuclear (CN) e a opalescência nuclear (ON) e, cinco imagens por retroiluminação para graduar cataratas corticais (C) e subcapsulares (P). O grau da catarata é obtido a partir de uma escala decimal com intervalos igualmente espaçados, onde a ON e a CN são caracterizadas numa escala de 0,1 a 6,9 (baseadas nas seis fotografias padrão), e a C e a P são graduadas numa escala de 0,1 a 5,9, tendo como base as cinco fotografias padrão (10; 37). Estas imagens padrão estão representadas na Figura 2.8.

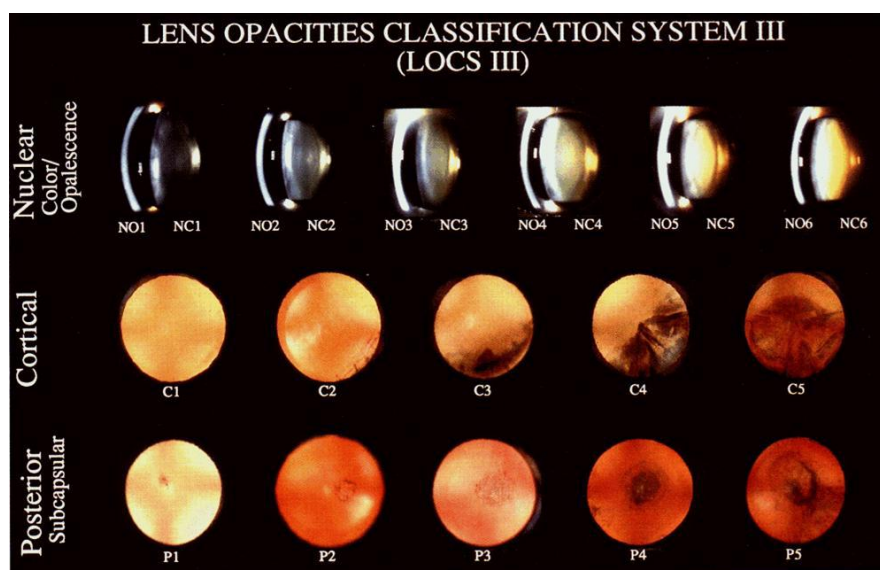


Figura 2.8: Imagens padrão do LOCS III. ON1 ao ON6 e CN1 ao CN6 representam o padrão para a opalescência e cor, respectivamente. C1 ao C5 são as imagens padrão para cataratas corticais e P1 ao P5 para as cataratas subcapsulares (37).

No entanto, em 1997, Hall et al. (38) correlacionaram os dois sistemas de classificação, mencionadas anteriormente, no sentido de verificar e explicar as diferenças entre eles. Com este estudo, os investigadores observaram diferenças na classificação das cataratas nucleares e corticais, sendo que nesta última não verificaram qualquer relação entre os dois sistemas. Segundo os autores, as diferenças observadas, nestes tipos de cataratas, residiam, essencialmente, nos critérios de classificação empregados pelos dois sistemas. Porém, para as cataratas subcapsulares foi apurada uma relação linear, reflectindo as similaridades nos processos de avaliação e classificação dos dois sistemas. Assim, este artigo mostra a importância de se relacionarem os vários sistemas de classificação das cataratas e a necessidade dos dois sistemas estudados, o LOCS III e o OCCCGS, utilizarem câmaras Scheimpflug com sensores CCD (Dispositivo de Carga Acoplada), permitindo a medição de densidades ópticas e, conseqüentemente, tornar mais objectiva a comparação de padrões.

Sabendo que a opacificação do cristalino está associada ao desenvolvimento de uma catarata, ao longo do tempo foram surgindo publicações, que estudavam a densidade do cristalino com os sistemas LOCS II/ LOCS III ou tentavam reproduzir novos métodos mais objectivos diversificando as tecnologias e processos associados às avaliações. Todos os estudos, realizados nesta área da oftalmologia, são de grande importância, visto que existe a necessidade de um sistema de classificação da catarata universal, que permita, igualmente, a medição precisa do grau da catarata, com o objectivo de avaliar os potenciais riscos de uma cirurgia, personalizando-a.

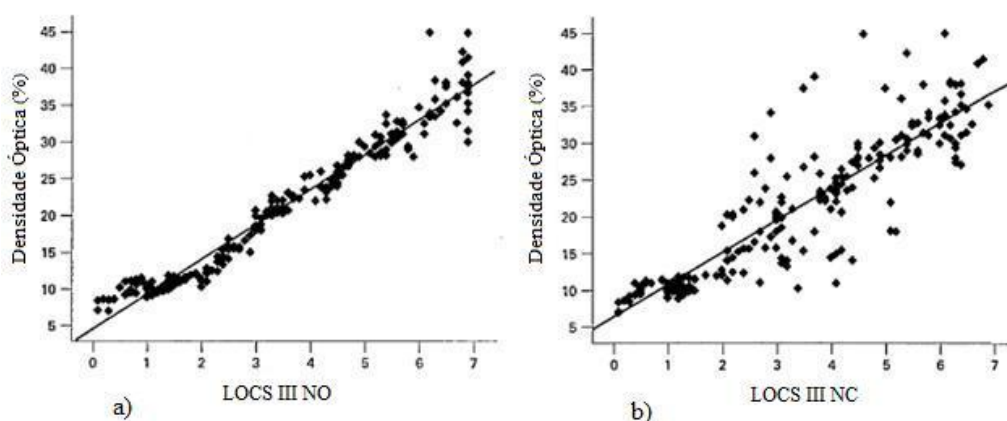
Bem cedo se começaram a utilizar imagens Scheimpflug do segmento anterior do olho, no sentido de estudar a transparência do cristalino, utilizando tecnologias que possibilitassem medir a sua densidade óptica e relacioná-la com alguns sistemas de classificação. Assim, em 1982, Hockwin e Dragomirescu (39), utilizando uma câmara Scheimpflug Topcon SL-45, descreveram as opacificações do cristalino através de um microdensitómetro. Mas, em 1995, Hockwin (7) verificou que, a partir de um gráfico de densidade e imagens Scheimpflug do segmento anterior, era possível diferenciar as várias regiões do cristalino opacificadas e classificá-las, medindo a extensão e intensidade da opacificação através da altura dos picos do gráfico de densidade.

Por outro lado, Manuel B. Datiles et al. (40) estudaram a progressão da catarata nuclear através de um sistema designado de *NEI Scheimpflug Cataract Imaging System*, comparando também com o sistema LOCS II. Com este estudo, os autores aferiram que o método Scheimpflug detectava diferenças significativas nesta progressão, ao contrário do LOCS II. Estas diferenças foram justificadas devido à possibilidade do método Scheimpflug

usar uma escala contínua, em unidades de densidade óptica, e de este método estar programado para detectar pequenas modificações na densidade, que não são diferenciadas pelo olho humano. Ainda neste estudo, os investigadores constataram que os sistemas automáticos podiam ser mais consistentes e mais fiáveis, quando comparados com sistemas subjectivos, como era o caso do LOCS II.

Simultaneamente, foi desenvolvido um sistema pela Nidek, denominado de EAS 1000, que também permitia quantificar a densidade do cristalino, oferecendo a possibilidade de utilizar tanto imagens Scheimpflug como de retroiluminação no mesmo dispositivo. Assim, a partir desta nova tecnologia, emergiram novos estudos quer para a opacificação da catarata nuclear quer para a cortical e subcapsular.

Contudo, em 2004, a Oculus desenvolveu um sistema de diagnóstico oftalmológico, denominado de Pentacam, o qual, de entre vários módulos, possui um que possibilita a medição da densidade óptica do cristalino. Este novo sistema combina a lâmpada de fenda com o princípio de Scheimpflug. Assim, recentemente, X Pei et al. (26) publicaram um artigo em que, utilizando o sistema Pentacam, correlacionaram a densidade óptica, medida em cataratas nucleares, com o LOCS III. Neste estudo, os investigadores analisaram 138 pacientes, perfazendo um total de 180 olhos. Com a pupila dilatada, a opacidade do núcleo do cristalino foi avaliada através do LOCS III e o pico máximo da densidade óptica medida no meridiano 120°-300° para o olho direito e no meridiano 240°-60° no olho esquerdo. Os autores observaram, assim, uma relação linear crescente entre a densidade óptica do núcleo do cristalino e os graus de ON e CN do LOCS III, como se pode verificar pelos gráficos da Figura 2.9:



**Figura 2.9: Relação entre densidade óptica medida no sistema Pentacam e o sistema LOCS III. a) Opalescência nuclear. b) Cor Nuclear (26). (Adaptado)**

Ainda com o sistema Pentacam, com o módulo de tomografia, Grewal et al. (41) desenvolveram e validaram um método para quantificar a opacificação da cápsula posterior

depois de uma cirurgia ocular e implantação de lentes intra-oculares (LIO). Com este estudo, os autores verificaram que o módulo de tomografia do sistema Pentacam faculta uma análise mais objectiva do que as imagens de retroiluminação, sendo, desta forma, uma ferramenta viável para analisar cataratas na cápsula posterior. Além disto, os investigadores constataram que o sistema Pentacam possui vantagem relativamente à câmara Scheimpflug da Nidek, visto que o sistema Pentacam reconstrói as imagens de tomografia a partir das suas 50 imagens Scheimpflug (42), permitindo cobrir, praticamente, toda a área da cápsula posterior, em vez de esta resultar de um único meridiano ou média calculada a partir de quatro meridianos.

Adicionalmente aos módulos já referidos para o sistema Pentacam, foi desenvolvido, recentemente, um outro módulo, para este mesmo sistema de diagnóstico, que além de possibilitar a medição da densidade óptica do cristalino automaticamente, classifica a catarata em graus, numa escala de 0 a 5, mediante o valor da densidade óptica do núcleo do cristalino. Este novo programa é designado de PNS e foi desenvolvido pelo Dr. Donald Nixon em colaboração com a Oculus.

Desta forma, os estudos apresentados ao longo desta secção mostram a importância de melhorar ou desenvolver novos sistemas de classificação da catarata, objectivando o planeamento personalizado da cirurgia da catarata, diminuindo-lhe os problemas que lhe estão associados.

### **2.3. Cirurgia da Catarata**

A prática da cirurgia à catarata é uma técnica já antiga e que, no século XIX, consistia na introdução de uma agulha de ouro no interior do globo ocular, de forma a empurrar o cristalino para o humor vítreo, melhorando a visão. No entanto, esta cirurgia passou a ser executada por crioextracção. Neste procedimento, através de uma grande incisão, era introduzida uma sonda a  $-30^{\circ}\text{C}$  no globo ocular, sendo, posteriormente, extraído todo o cristalino. Uma vez que não era colocada nenhuma LIO, o paciente tinha de usar lentes convergentes, de elevada potência refractiva, para colmatar a ausência do cristalino. Porém, esta técnica evoluiu para a cirurgia intracapsular, na qual tanto a cápsula como a lente eram removidas, sendo depois colocada uma LIO ou na zona frontal da pupila ou fixada com suturas às paredes do globo ocular. Contudo, a técnica cirúrgica à catarata continuou a progredir e, actualmente, existem dois tipos de cirurgias: extracapsular e facoemulsificação.



### 2.3.1. Técnica da Facoemulsificação

O objectivo da cirurgia da catarata é remover as lentes opacificadas e substituí-las por lentes plásticas, permanentemente, colocadas no interior do olho.

A facoemulsificação é uma versão modificada da técnica extracapsular e é o procedimento cirúrgico mais comum, actualmente, para remover as cataratas. Neste procedimento, o cirurgião executa incisões de, sensivelmente, 2,8mm a 3,5mm, na zona branca do olho, muito próximas dos limites da córnea. Uma vez realizadas as incisões, é introduzida uma pequena sonda no interior da câmara anterior do olho, que vai emitir ultra-sons (1; 11; 43). Estes, por sua vez, vão emulsionar o núcleo do cristalino em pequenos fragmentos nucleares, que serão removidos pela mesma sonda por um processo de sucção (1; 11). Nesta técnica, a potência dos ultra-sons é programada mediante a densidade óptica do núcleo do cristalino, sendo esta região anatómica a mais importante para a facoemulsificação e a região primeiramente removida, seguida do córtex e região anterior do cristalino (1; 11). A cápsula posterior é mantida no interior do globo ocular, servindo de apoio para uma correcta posição da colocação da LIO. A Figura 2.10 representa, em desenho, as várias fases deste procedimento cirúrgico.

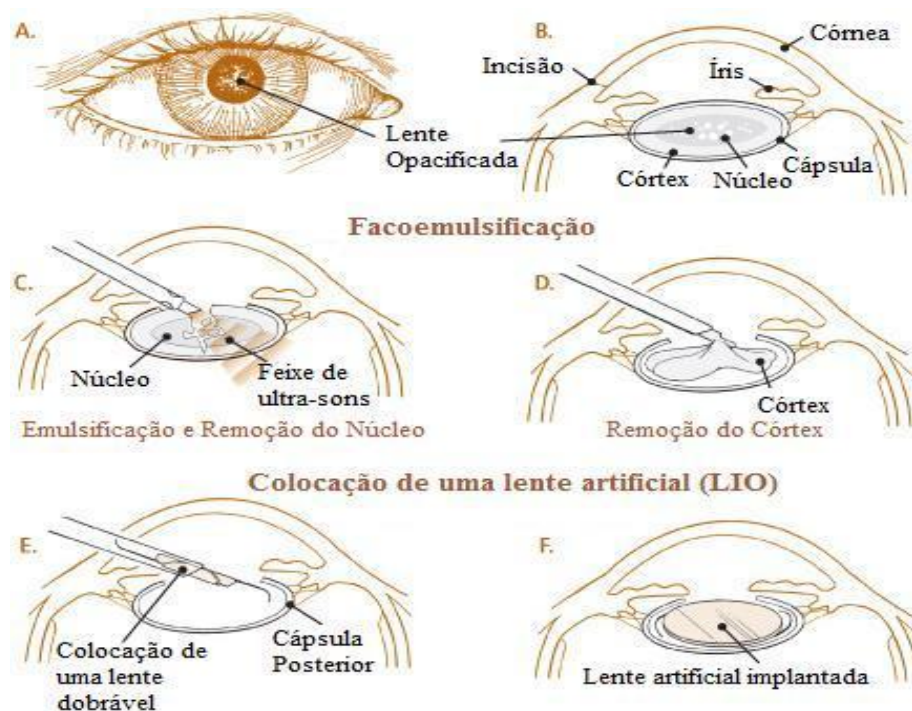


Figura 2.10: As várias etapas do procedimento da facoemulsificação (43). (Adaptado)

Assim, para substituir a lente do cristalino, é colocada uma lente transparente e artificial, LIO. Esta é uma lente de silicone ou acrílico, que, no interior da sonda, se encontra dobrada e, quando inserida através da incisão, já realizada anteriormente, e colocada no centro

da cápsula do cristalino pelo cirurgião, desdobra-se, posicionando-se no respectivo lugar, fixando-se nele (43).

Desta forma, no processo da facoemulsificação, desde o emulsionar à remoção, estão envolvidos três parâmetros - fluxo, vácuo e potência de ultra-sons - que devem estar, em todo o processo, devidamente controlados.

O fluxo é definido como o volume de fluído, medido em centímetros cúbicos (cc), que circula na câmara anterior do olho, por unidade de tempo (minutos (min)) (1; 12).

O vácuo define-se como a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão no interior da sonda da FACO, durante o processo de aspiração. Este parâmetro é medido em milímetros de Mercúrio (mmHg) e representa a pressão negativa criada na ponta da sonda da FACO, determinando a velocidade de atracção dos fragmentos nucleares até à ponta da sonda (1; 12).

A potência dos ultra-sons é a energia de ultra-sons necessária para emulsionar o núcleo do cristalino em fragmentos nucleares, possibilitando que estes sejam removidos (1; 12).

Porém, estes três parâmetros, apesar de desempenharem funções distintas no processo da facoemulsificação, dependem uns dos outros, pelo que, os seus valores devem estar, permanentemente, controlados. Neste sentido, visto que o fluxo é responsável pelos fluidos que entram na câmara anterior do olho e o vácuo associado ao processo de sucção e à consequente perda de fluidos, estes dois parâmetros devem estar em total concordância, com o objectivo de equilibrar o volume de fluidos no interior da câmara anterior, evitando o colapso da mesma. Acrescenta-se ainda a este processo de controlo, a inspecção do valor correcto na potência dos ultra-sons a ser aplicada, de forma a evitar danos nas estruturas delicadas do olho, nomeadamente a perda das células endoteliais da córnea (1; 11; 12).

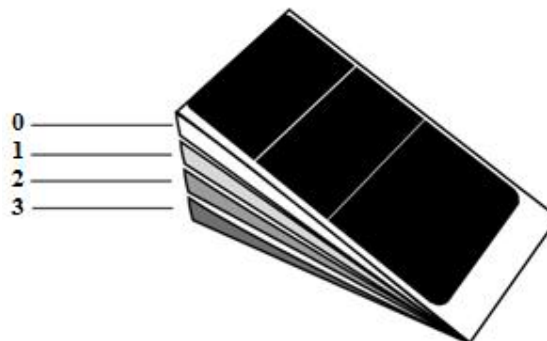
Assim, a facoemulsificação apresenta uma grande vantagem, relativamente às outras técnicas cirúrgicas, uma vez que é executada uma pequena incisão na córnea, favorecendo uma rápida recuperação visual do paciente. Contudo, possui a desvantagem de necessitar dos ultra-sons, em quantidade elevada, para emulsionar o núcleo do cristalino, exigindo, desta forma, um controlo exaustivo de todos os parâmetros.

Face ao exposto, actualmente, o grande desafio da técnica da facoemulsificação é optimizar os seus parâmetros, particularmente minimizar o uso dos ultra-sons, mantendo a máxima eficácia no seu procedimento.

Em relação ao aparelho da facoemulsificação, este é constituído por um sistema fluídico avançado e por uma peça de mão (sonda) responsável pela emissão dos ultra-sons. O sistema fluídico consiste num sistema de bomba peristáltica baseada no fluxo. Este sistema,

tendo como base um microprocessador, monitoriza e controla continuamente as condições intra-oculares em termos de fluxo e vácuo no olho. A peça de mão da facoemulsificação funciona como um transdutor, que sendo constituído por cristais piezoeléctricos, possibilita a conversão da energia eléctrica em energia mecânica. Assim, esta sonda vibra longitudinalmente a uma dada frequência. A peça de mão é, também, concebida por um canal de aspiração directo para uma remoção mais eficiente dos fragmentos nucleares, minimizando, deste modo, a obstrução e facilitando a limpeza (44). Actualmente, a maioria dos dispositivos da cirurgia à catarata operam numa frequência compreendida entre 35kHz a 45kHz. Este intervalo de frequências é o ideal para emulsionar o núcleo do cristalino; contudo, baixas frequências são menos eficientes e altas frequências podem provocar um excesso de calor.

O dispositivo da facoemulsificação é, igualmente, constituído por um pedal que controla os diversos parâmetros da facoemulsificação. Este pedal possui três intervalos de movimentação vertical activos, que são referenciados pelas Posições 0, 1, 2 e 3. A Posição 0 é a posição de descanso, na qual o sistema não está activo mas preparado para tal, enquanto na Posição 3 o pedal está totalmente pressionado (12; 44). Os intervalos são demonstrados na Figura 2.11.



**Figura 2.11: Representação do pedal da facoemulsificação e suas posições (44).**

A posição do pedal determina a função a ser aplicada à peça de mão, pelo que, na Posição 1 o fluxo é activado, na Posição 2 o vácuo e na Posição 3 a potência dos ultra-sons (12; 44). Estes parâmetros podem ser programados no modo Linear ou no modo Painei (44). No modo Linear o parâmetro programado aumenta desde o seu valor mínimo até ao máximo pré-definido, conforme o cirurgião vai pressionando o pedal. No modo Painei o parâmetro em questão é aplicado de uma forma consistente, sem que sofra alterações quando pressionado o pedal (44).

Nos últimos anos, alguns investigadores têm realizado estudos, com o intuito de relacionar os sistemas de classificação da catarata com a energia de ultra-sons da

facoemulsificação. Deste modo, em 2003, James A. Davison e Leo T. Chylack (15) e em 2005, G. Beneie et al. (14) relacionaram o tipo e graus da catarata do sistema LOCS III com a energia de ultra-sons dispendida. Nestes estudos, os investigadores observaram uma relação linear crescente entre a energia de ultra-sons e os graus da catarata nuclear, em termos de opalescência e cor, até, sensivelmente ao grau 4. A partir deste grau, a relação aproximava-se a uma exponencial (Figura 2.12). Contudo, para cataratas corticais e subcapsulares, os autores não observaram nenhuma relação entre estes tipos de cataratas e a energia dos ultra-sons.

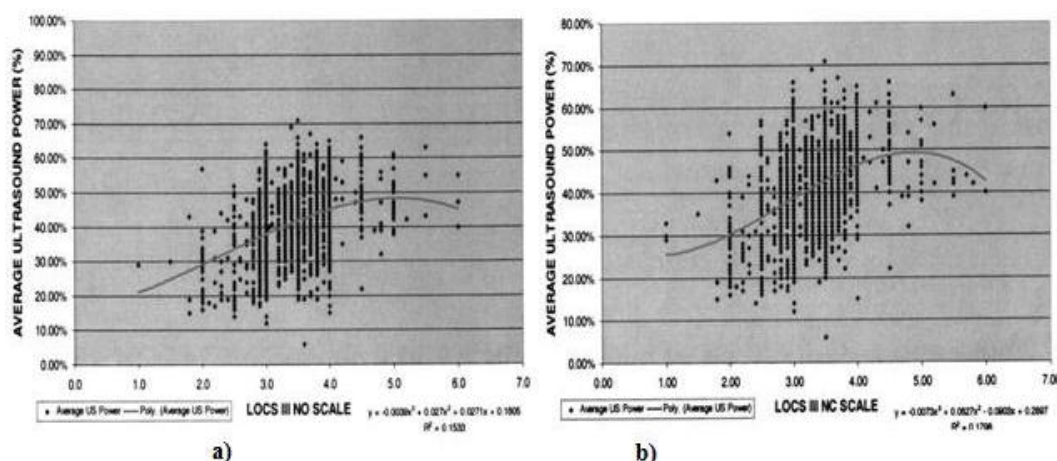
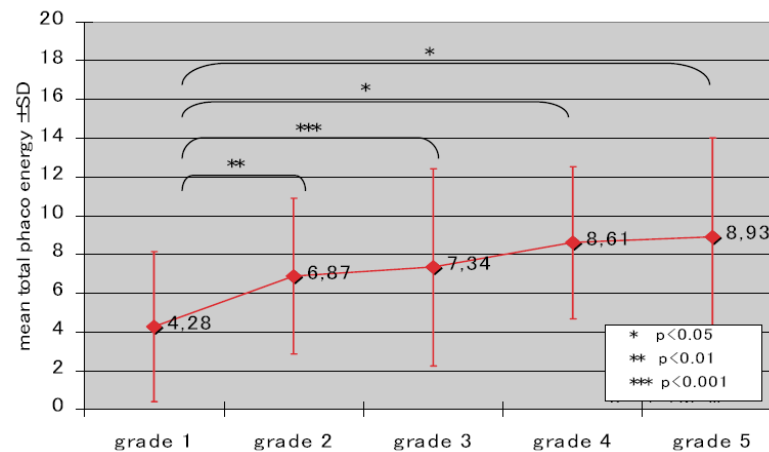


Figura 2.12: Relação entre o sistema LOCS III e a energia dos ultra-sons da facoemulsificação. a) ON vs energia. b) CN vs energia (15). (Adaptado)

Assim, estes dois estudos mostram que a incorporação do LOCS III permite observar a progressão clínica da catarata, possibilitando, deste modo, a execução de um planeamento pré-operativo que se adeque a cada paciente. A partir deste estudo, pode-se, igualmente, aferir que, para a cirurgia da catarata, a região anatómica mais importante do cristalino é o seu núcleo, pelo que, dependendo da sua densidade óptica, os valores dos parâmetros da FACO podem ser modificados, conduzindo à minimização dos danos no globo ocular.

Porém, alguns investigadores são da opinião que o LOCS III é um sistema subjectivo, havendo, segundo eles, a necessidade de desenvolver sistemas de classificação de catarata em graus mais objectivos. Face a este problema, o Dr. Donald Nixon, em colaboração com a Oculus, desenvolveu um sistema de classificação de cataratas, o PNS, baseado no valor da densidade óptica do núcleo do cristalino, para o sistema Pentacam.

Desta forma, recentemente, T.M. Rabsilber et al. (27), utilizando este novo sistema de classificação, estudaram a relação entre os graus da catarata e o valor médio da energia dos ultra-sons aplicada durante a cirurgia da catarata, obtendo o gráfico da Figura 2.12:



**Figura 2.13: Relação entre o grau da catarata, baseado na densidade óptica, do sistema PNS e a energia dos ultra-sons na facoemulsificação (27). (Adaptado)**

A partir dos seus resultados, os investigadores concluíram que o valor da energia dos ultra-sons aumenta com o aumento da densidade óptica do núcleo do cristalino. Concluíram, igualmente, que o sistema Pentacam permite uma classificação objectiva do grau da catarata, uma vez que a sua classificação é baseada no valor da densidade óptica do núcleo do cristalino (27).

Assim, todos os estudos, apresentados neste capítulo, mostram a importância de se utilizarem tecnologias avançadas, como é o caso do sistema Pentacam, que permitam um diagnóstico preciso do grau da catarata, de forma a controlar-se com maior exactidão a potência dos ultra-sons. Contudo, o fluxo e o vácuo têm, também, um papel muito importante, pelo que, neste trabalho todos os parâmetros da facoemulsificação serão relacionados com a densidade óptica do núcleo do cristalino, medida através do sistema Pentacam. Pretende-se, assim, estudar de que forma o fluxo e o vácuo podem contribuir para minimizar o uso dos ultra-sons, tornando a cirurgia da catarata ainda mais personalizada, dando um novo contributo à ciência na área da facoemulsificação.



### *O Sistema Pentacam*

---

O sistema Pentacam, representado na Figura 3.1, passou a ser um dispositivo clínico de diagnóstico oftalmológico, desde que foi aprovado, para a prática clínica, em 2004 nos Estados Unidos.



**Figura 3.1: O sistema Pentacam (42).** (Adaptado)

Este dispositivo de diagnóstico consiste numa câmara rotatória Scheimpflug, a qual fornece imagens Scheimpflug do segmento anterior do olho. Com esta técnica, o sistema Pentacam calcula um modelo tridimensional (3D) do segmento anterior do olho, proporcionando informações sobre: topografia, elevação e paquimetria da córnea, profundidade, ângulo e volume da câmara anterior, e, ainda, valores de densidade óptica do cristalino. As informações que este equipamento devolve possibilitam, também, melhorar os cálculos para a implementação de lentes intra-oculares (LIO) para a cirurgia LASIK (Laser-Assisted in Situ Keratimilusus), PRK (Photorefractive Keratectomy) e RK (Radial Keratotomy).

### 3.1. Princípio de Medição

As imagens do segmento anterior do olho, obtidas pelo sistema Pentacam, são adquiridas através de uma câmara Scheimpflug que roda 360°, como é ilustrado na Figura 3.2, capturando 25 a 50 cortes sagitais, em cerca de dois segundos.

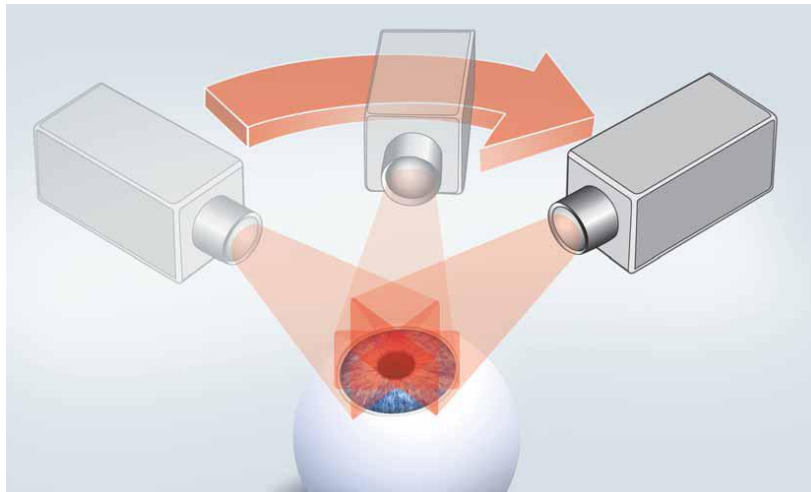


Figura 3.2: Sistema de Rotação (42). (Adaptado)

Desta forma, cada imagem extraída contém 2760 pontos de elevação, resultando, no máximo, em 138000 pontos de elevação (50 cortes x 2760 pontos) (42), tanto para a superfície anterior como para a posterior, de limbo a limbo, incluindo o centro da córnea. Este processo de rotação faculta, deste modo, a construção tridimensional do segmento anterior do olho. A câmara que constitui o sistema Pentacam HR (Alta Resolução) é uma câmara digital CCD com 1,45 Megapixéis (19; 42), proporcionando imagens Scheimpflug de alta qualidade.

O sistema Pentacam é, assim, formado por um sistema de iluminação, que projecta uma fenda de luz sobre a córnea, e uma câmara rotatória Scheimpflug. Ambos os componentes estão montados sobre um braço comum e podem rodar em torno do mesmo eixo, coincidente com o eixo óptico do olho. O sistema de iluminação é formado por uma fonte de luz, um diafragma em forma de fenda e um sistema de lentes. A fonte de luz consiste num LED (Díodo Emissor de Luz) de cor azul com um comprimento de onda de 475nm (19; 42), com a mesma orientação do diafragma. Assim, de forma a obter as várias secções do segmento anterior do olho, a fenda de luz roda 360°, enquanto a câmara, que roda em simultâneo, adquire as imagens. Este processo de obtenção dos 25 ou 50 meridianos permite ao sistema, antes da reconstrução da imagem, realinhar o ponto mais fino da córnea em cada secção, possibilitando a eliminação de qualquer movimento ocular, que possa ocorrer durante o exame (19; 42; 45).



Como já foi referido, as imagens do segmento anterior, captadas pelo sistema Pentacam, são adquiridas com base no princípio Scheimpflug. Este princípio consiste numa regra geométrica, a qual descreve a orientação do plano de foco, no sistema óptico, quando o plano da lente e do objecto não são paralelos. Geralmente, este princípio é aplicado quando são usadas câmaras de movimento, com o objectivo de obter uma boa profundidade de foco.

Deste modo, segundo o princípio de Scheimpflug existem três planos: o plano do objecto, da lente e da imagem. Assim, este princípio estabelece que, para se obter uma imagem com elevada profundidade de foco, é necessário que os três planos (objecto, lentes e filme) se intersectem no mesmo ponto através de uma linha, onde a secção sagital do olho aparece no foco (46; 47), tal como é ilustrado na Figura 3.3a). Em imagens convencionais tal situação não sucede, uma vez que os três planos são paralelos entre si e perpendiculares ao eixo óptico do sistema, Figura 3.3b), não possibilitando, assim, a formação de imagens com profundidade.

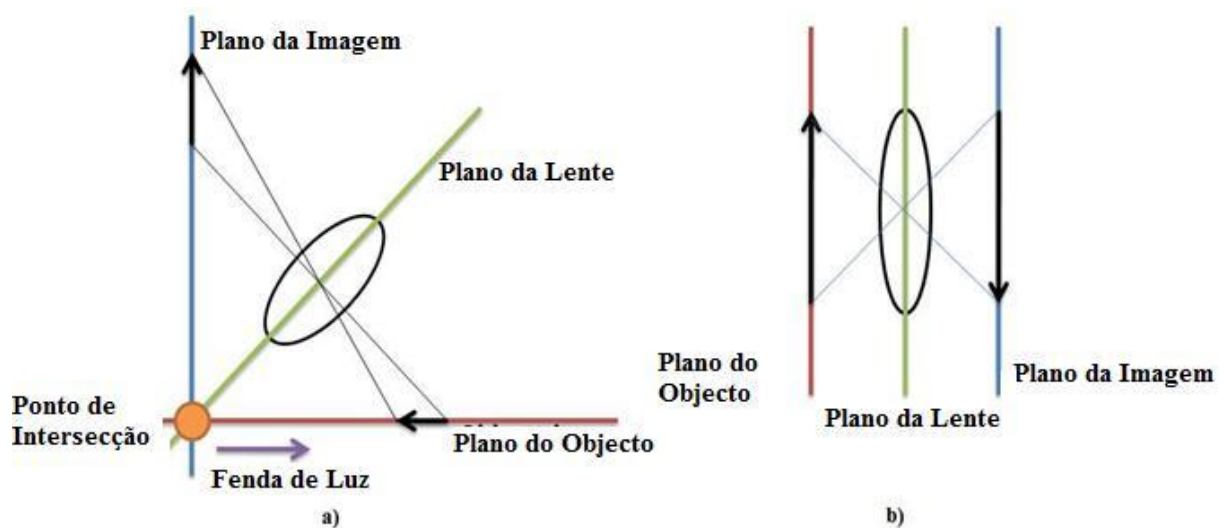


Figura 3.3: a) Princípio de Scheimpflug. b) Princípio convencional com profundidade de foco limitada.

Para este sistema de diagnóstico oftalmológico que usa o princípio de Scheimpflug, o ângulo formado entre o plano da lente e do objecto é de  $45^\circ$ , enquanto o ângulo formado entre o plano da lente e o da imagem deve ser inferior a  $45^\circ$  (28).

## 3.2. Aquisição das Imagens

Durante o exame, os pacientes estão sentados numa cadeira com os seus queixos pousados numa base e as suas frentes encostadas a uma fita. Devidamente posicionados, estes são instruídos a manter ambos os olhos abertos e fixos numa luz azul, que é activada quando se inicializa o exame. No modo de *scan* automático, este inicia-se quando os planos X, Y e Z

estiverem alinhados. A aquisição das imagens pode ser, igualmente, realizada no modo manual, no qual o técnico decide quando deve iniciar o exame ao paciente.

O alinhamento dos referidos planos é observado através da janela de inicialização, ilustrada na Figura 3.4, do programa do sistema Pentacam.

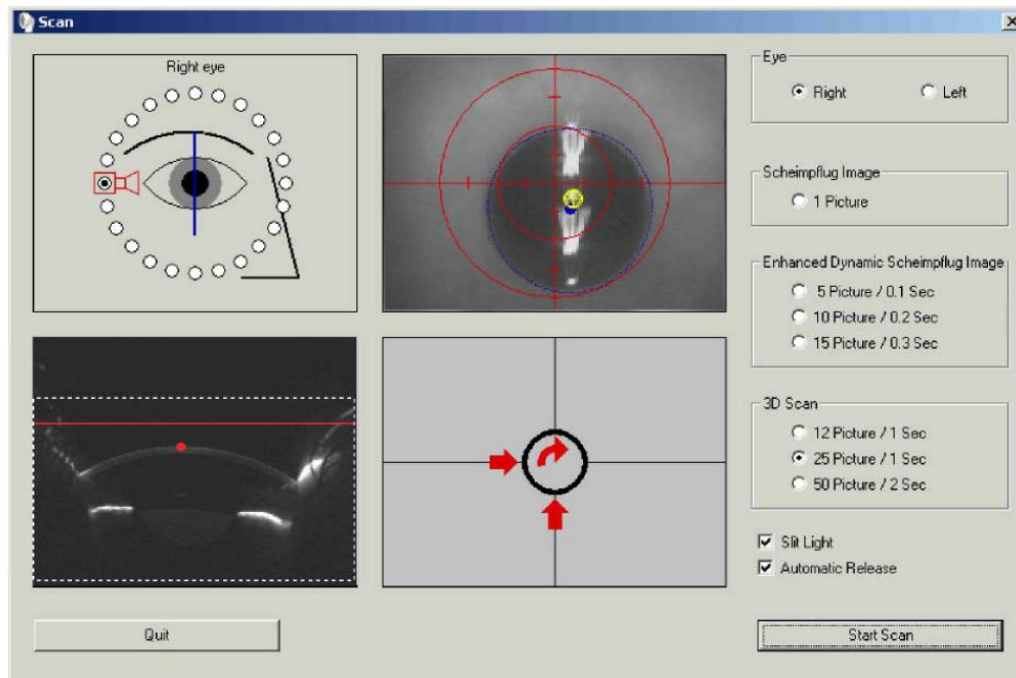


Figura 3.4: Janela de inicialização do exame do programa do sistema Pentacam (42). (Adaptado)

A janela de inicialização do exame, representada na Figura 3.4, permite observar, no canto superior esquerdo, a posição actual da câmara, encontrando-se, no lado inferior, a imagem Scheimpflug, *in vivo*, do segmento anterior do olho do paciente. Esta imagem fornece a orientação do eixo Z, sendo a linha vermelha, nela afigurada, o plano do foco e o ponto a vermelho o ápice da córnea. No lado superior central da janela é apresentada a imagem da pupila, mostrando a orientação vertical (Y) e horizontal (X). O pequeno círculo azul representa o centro da pupila, enquanto o círculo maior representa a pupila. A amarelo é mostrado o ápice da córnea. Ainda na zona central, mas no lado inferior, é exibido o ecrã de alinhamento. Neste, as setas mostram a direcção na qual o dispositivo deve ser movido, através de um *joystick*, para que a os planos fiquem alinhados. Este alinhamento pode ser, igualmente, visualizado através da imagem Scheimpflug *in vivo*. Assim, os planos estarão alinhados, quando a linha a vermelha estiver coincidente com o ponto vermelho.

Após o *scan*, as imagens Scheimpflug são transmitidas e processadas por um computador, obtendo-se informação sobre: topografia e paquimetria da superfície anterior e posterior da córnea; profundidade da câmara anterior do olho e ainda opacidades do cristalino (21; 23; 42).

### 3.3. Imagens Scheimpflug

O programa do sistema Pentacam proporciona, entre outros, o módulo de análise das imagens Scheimpflug adquiridas. Assim, quando este módulo é seleccionado, é aberta uma janela com uma das 25 ou 50 imagens Scheimpflug, como é ilustrada na Figura 3.5.

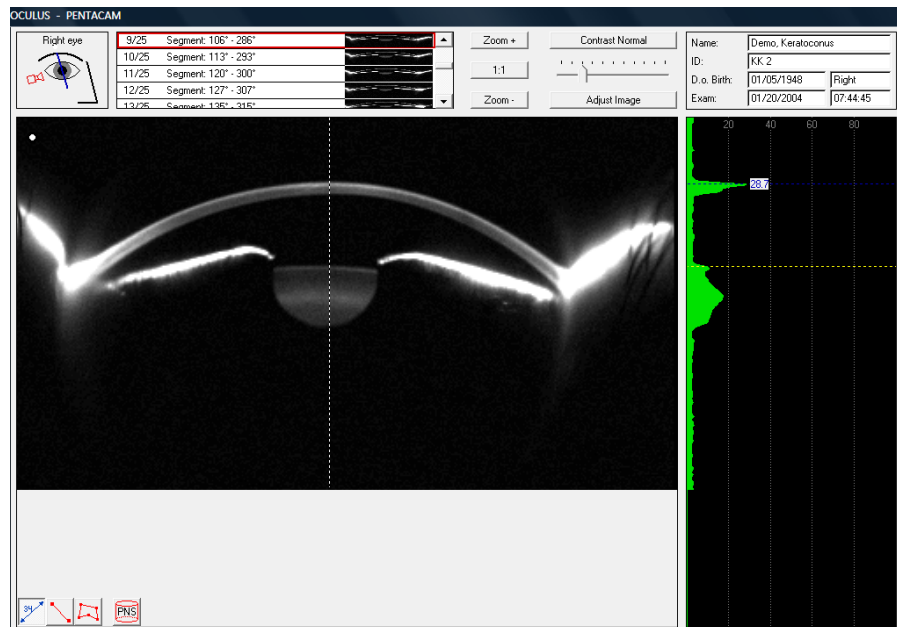


Figura 3.5: Imagem Scheimpflug 3D do meridiano 106°-286°, do sistema Pentacam.

Este módulo da análise das imagens Scheimpflug possibilita a selecção do meridiano pretendido, através dos vários cortes disponibilizados na zona superior desta janela; ajustar a ampliação da imagem com os dois botões designados de “Zoom+” e “Zoom-“, e, ainda, alterar as propriedades da imagem, nomeadamente brilho, contraste, gama e aplicação de alguns filtros, através do botão denominado de “Adjust Image”. Quando activado este botão, o programa do sistema Pentacam devolve uma box (caixa), representada na Figura 3.6, que permite modificar o contraste, brilho e gama através de barras deslizantes e aplicar filtros na imagem Scheimpflug através da selecção dos filtros disponibilizados pelo sistema.



Figura 3.6: Box que permite ajustar as propriedades da imagem Scheimpflug, no sistema Pentacam.

A utilização deste botão, que faculta os ajustes das propriedades da imagem, é importante porque permite a localização dos limites de regiões ou lentes artificiais, as quais, apenas, produzem um pequeno grau de reflexão (42).

Ainda neste módulo da análise das imagens Scheimpflug, o programa do sistema Pentacam possibilita a análise das opacidades do cristalino, através da medição de densidades ópticas.

### 3.3.1. Avaliação da Densidade Óptica

Para medir a densidade óptica do cristalino, o sistema Pentacam vai gravando uma parte óptica, medindo a quantificação da luz transmitida (T), que, por sua vez, será utilizada para calcular a densidade óptica (D.O) do cristalino (19).

A equação 1 representa a relação entre a densidade óptica e a quantificação da luz transmitida.

$$D.O. = \log_{10}(\text{Opacificação}) = \log_{10}\left(\frac{1}{T}\right) = \frac{T_{\text{medido}}}{T_{\text{transmitido}}} \text{ equação 1}$$

Assim, o programa do sistema Pentacam devolve o valor da densidade óptica numa escala de 0 a 100 normalizada, sendo esta normalização baseada numa escala de cinzentos (42). Esta quantificação inicia-se desde o vértice da córnea até à cápsula posterior do cristalino, através de um gráfico de densidade, como é ilustrado pela Figura 3.7.

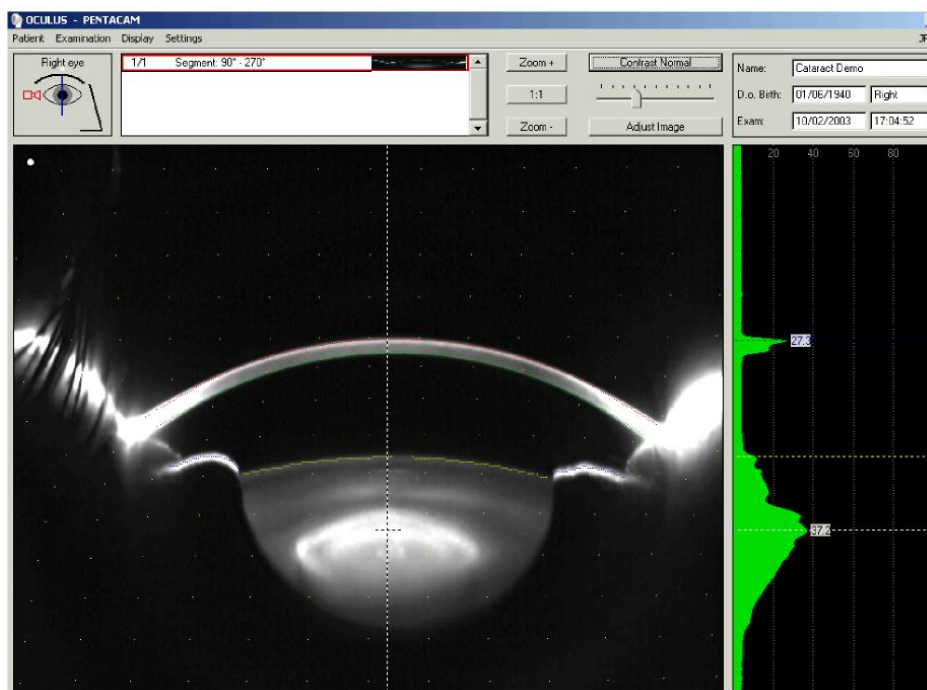


Figura 3.7: Imagem Scheimpflug e quantificação óptica através do gráfico de densidade.

Como é exibido pela Figura 3.7, do lado direito da imagem Scheimpflug encontra-se o gráfico de densidade, que proporciona ao oftalmologista quantificar visualmente as modificações ópticas do cristalino e também da córnea (19; 20; 21), uma vez que a sua largura indica a opacidade da região anatómica em causa. Este gráfico possibilita, igualmente, medir as densidades ópticas máximas na região onde é colocado o cursor na imagem Scheimpflug, pelo que, alterações na posição do mesmo modificam os valores de densidade no respectivo gráfico. Contudo, este módulo permite, ainda, medir as densidades ópticas numa área ou numa linha (25).

#### 3.3.1.1. Densidade Óptica numa Área

Como foi referido, no módulo de análise das imagens Scheimpflug é possível medir as densidades ópticas do cristalino numa área. Para tal, basta delimitar manualmente, através de uma linha, como mostrado na Figura 3.8, a área que se pretende avaliar. Feita a delimitação, o programa do sistema Pentacam devolve, numa tabela, os valores da densidade média nessa região, respectivo desvio-padrão e valor máximo.

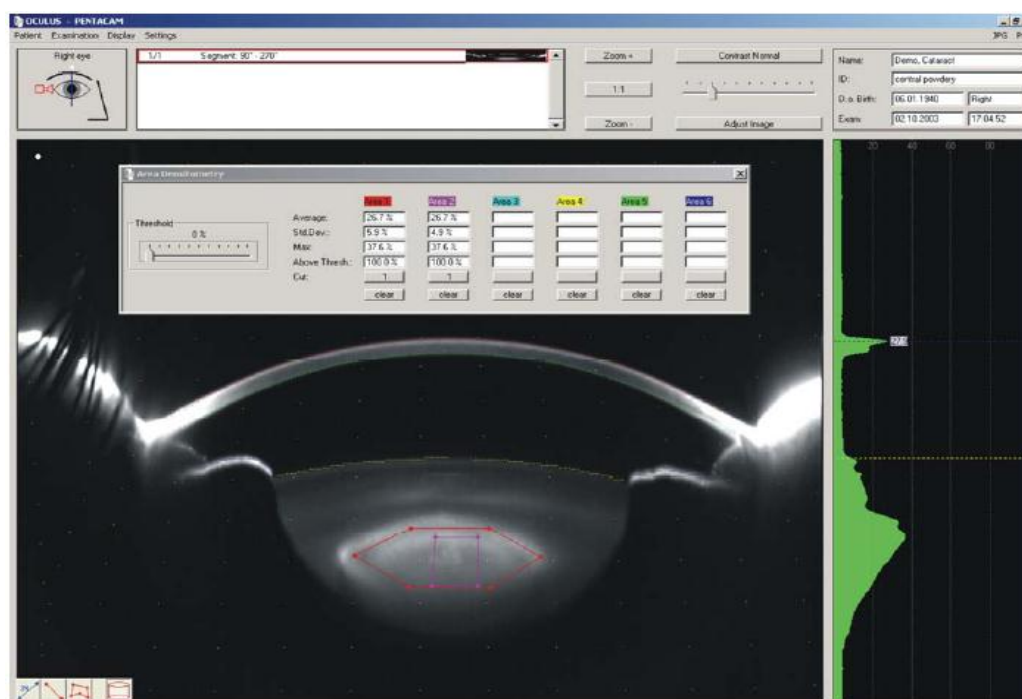


Figura 3.8: Medição da densidade óptica numa área, no programa do sistema Pentacam.

É possível delimitar 5 áreas em simultâneo, representadas por cores diferentes, sendo cada uma correspondente à mesma cor da coluna da tabela devolvida pelo programa. Nesta tabela é, igualmente, possível definir um valor individual de threshold (limite), que faculta a verificação da percentagem de pontos que possuem um valor de densidade superior ao definido (42).



A medição da densidade óptica numa área pode ser feita em todos os cortes adquiridos pelo sistema. No entanto, se nas definições de inicialização do *scan* for seleccionada a opção “Enhanced Dynamic Scheimpflug Image”, o sistema Pentacam calcula o valor médio da densidade óptica de cada imagem individual, representando-as, posteriormente, numa única imagem (42).

### 3.3.1.2. Densidade Óptica numa Linha

A densidade óptica pode ser, igualmente, medida numa linha. Assim, sobre a imagem Scheimpflug desenha-se uma linha, manualmente, a partir da qual o sistema Pentacam devolve uma janela, como ilustrado na Figura 3.9, com o gráfico da distribuição da densidade óptica nessa linha, valor de densidade média, desvio-padrão e valor máximo e mínimo detectados.

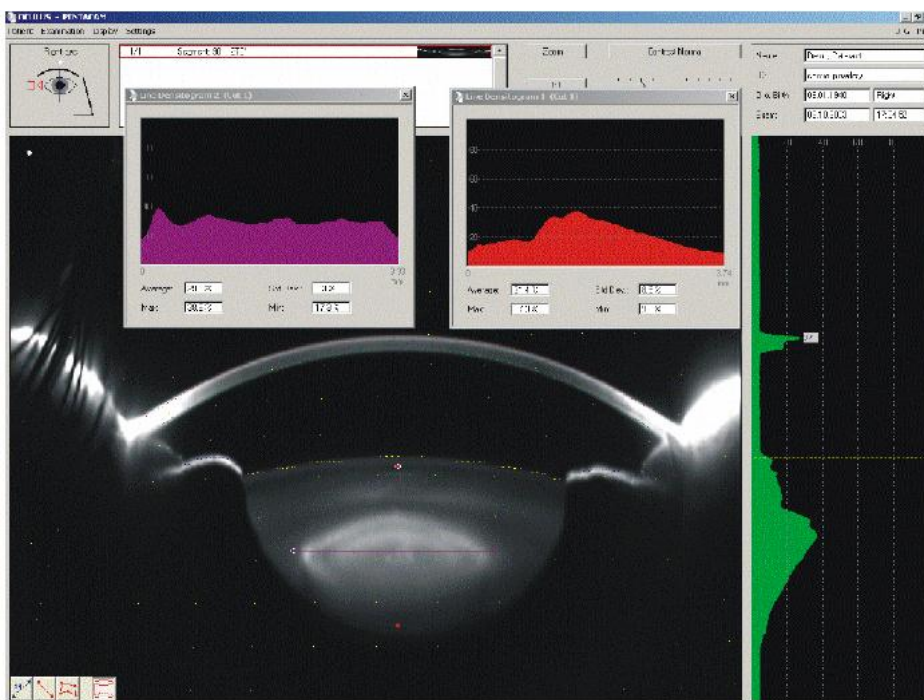


Figura 3.9: Medição da densidade óptica numa linha, no sistema Pentacam.

No gráfico da distribuição da densidade óptica na linha desenhada, o eixo X representa o comprimento da linha e o eixo Y o valor da densidade óptica. Este módulo de medição de densidade óptica permite desenhar 6 linhas de cores diferentes em simultâneo, pelo que, o sistema devolve 6 janelas diferentes que correspondem às 6 linhas desenhadas. Estas janelas são distinguidas através da cor do gráfico da distribuição da densidade, ou seja, a cor dos gráficos é a mesma que a respectiva cor da linha desenhada sobre a imagem Scheimpflug.

## 3.3.1.3. Pentacam Nucleus Staging

Recentemente, a Oculus Germany, com a colaboração do Dr. Donald Nixon, desenvolveu, para o sistema Pentacam, um novo programa, que possibilita a medição automática da densidade óptica do núcleo do cristalino. Este novo programa, designado de Sistema de classificação em graus do núcleo do cristalino para o sistema Pentacam (PNS), está integrado no módulo de análise das imagens Scheimpflug e quando activado é, automaticamente, aberta uma box, como a representada pela Figura 3.10.

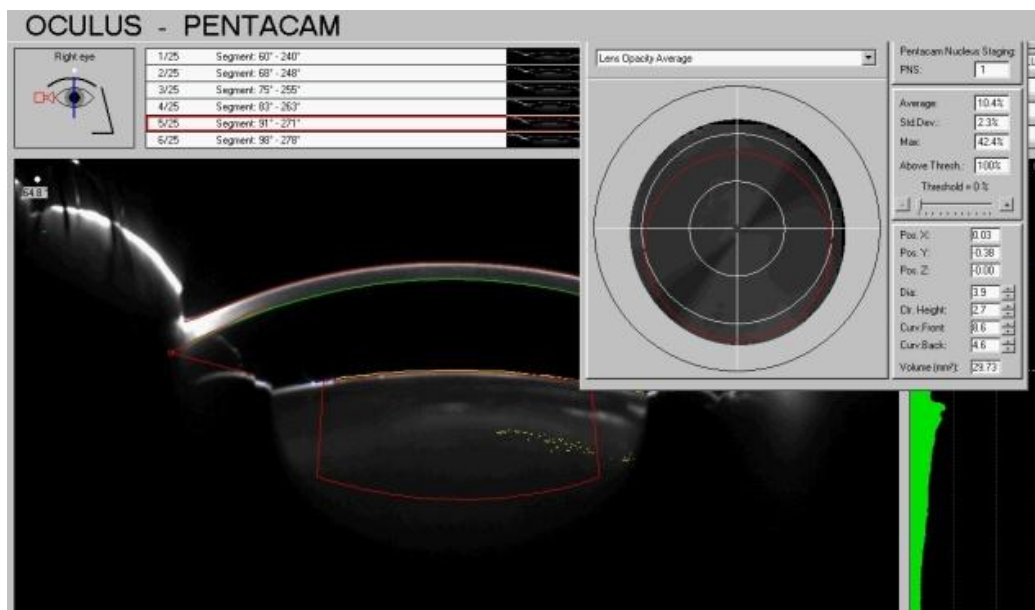


Figura 3.10: Representação do programa PNS.

A partir desta box, na zona central, o programa PNS devolve uma imagem a 3D da catarata, e, do lado direito, o grau da mesma; valores da densidade média, desvio-padrão e valor máximo de densidade; coordenadas da região delimitada na imagem Scheimpflug; diâmetro, altura, curvatura anterior e posterior da área medida e volume da catarata. Salienta-se que os valores devolvidos, neste programa, respeitantes à densidade óptica, são independentes do corte seleccionado. Além disso, a classificação da catarata em graus é efectuada numa escala de 0 a 5, tendo como base o valor da densidade óptica do núcleo do cristalino. Porém, os limites dos valores de densidade óptica em cada grau não são, actualmente, conhecidos, pois a patente deste programa está, ainda, pendente.





### *Metodologia*

Neste capítulo, serão apresentadas e descritas as várias fases seguidas durante o estudo clínico. Assim, para atingir os objectivos propostos neste trabalho, este foi dividido em três etapas:

1. Medição da densidade óptica, através do sistema Pentacam;
2. Classificação das cataratas em graus, utilizando os sistemas LOCS III e PNS;
3. Estudo da relação dos graus da catarata e, consequentemente densidade óptica, com os parâmetros da facoemulsificação (fluxo, vácuo e potência de ultra-sons).

#### **4.1. População estudada**

Neste estudo clínico foram avaliados 23 pacientes, num total de 37 olhos, com cataratas. Não foram tidas em consideração outras possíveis patologias oculares. Os pacientes da população em estudo tinham idades compreendidas entre 39 e 84 anos, sendo a idade média da amostra de  $72 \pm 11$  anos.

Uma vez que as condições das pupilas, no diagnóstico, não eram semelhantes em toda a população, esta foi dividida em dois grupos:

- a. Grupo com pupilas normais constituído por 13 pacientes, num total de 22 olhos avaliados;
- b. Grupo com pupilas dilatadas formado por 10 pacientes, integrando um total de 15 olhos analisados.

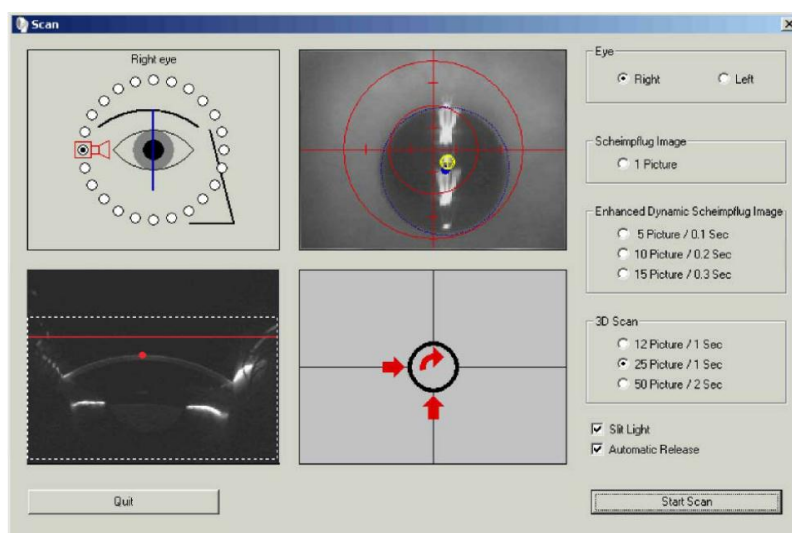
Todos os pacientes foram sujeitos a um exame no sistema Pentacam (Oculus, Germany), para se medirem as densidades ópticas do cristalino. Depois de realizado o exame

de diagnóstico, os pacientes foram submetidos à facoemulsificação, na qual se registaram os valores de fluxo, vácuo e potência dos ultra-sons.

## 4.2. Medição da Densidade Óptica

A densidade óptica do cristalino foi medida através do sistema Pentacam – Pentacam HR (Oculus, Germany), o qual é equipado com uma câmara de 1,45 Megapixéis, proporcionando, no máximo, 50 imagens *Scheimpflug* do segmento anterior por varrimento, com um total máximo de 138000 pontos de elevação (50 imagens x 2760 pontos de elevação).

Para este exame, cada paciente sentou-se em frente à câmara, colocando a fronte encostada a uma cinta e o queixo pousado numa base. Devidamente posicionados, foram instruídos a manter os olhos abertos e fixos numa luz azul activada no início do exame. Ainda nesta fase de inicialização, através de um *joystick*, o sistema Pentacam foi alinhado relativamente à posição do olho examinado do paciente de forma a iniciar-se o processo de varrimento automático. Neste varrimento, a câmara do sistema roda 360°, sendo extraídas as imagens *Scheimpflug* do segmento anterior do olho. Na Figura 4.1 encontra-se ilustrado o processo de examinação.



**Figura 4.1:** Janela de inicialização do exame do sistema Pentacam. No lado superior esquerdo a posição da câmara Scheimpflug e no lado inferior a imagem Scheimpflug representando a orientação do eixo Z. Nesta imagem, a linha a vermelho representa o plano de foco e o ponto o ápice da córnea. Em cima e na zona central encontra-se a imagem da pupila, onde estão representados os planos horizontais e verticais. Ainda na região central, mas em baixo encontra-se o ecrã de alinhamento, com as setas a indicarem o sentido em que o *joystick* deve ser movimentado. O varrimento inicia-se quando os planos X, Y e Z estiverem alinhados (42). (Adaptado)

Para este estudo clínico capturaram-se 25 imagens Scheimpflug por varrimento, gerando-se representações tridimensionais, em vários meridianos, do segmento anterior do olho e do cristalino. Posto isto, seleccionou-se o módulo imagens Scheimpflug que, a partir das suas imagens, possibilitou medir, manualmente, a densidade óptica do núcleo do cristalino e, automaticamente, através do novo programa, nele integrado, designado de PNS.

### 4.2.1. Medição Manual

Para medir a densidade óptica manualmente foi necessário seleccionar 9 cortes dos 25 extraídos. Estes 9 cortes foram escolhidos mediante dois critérios: cortes com maior densidade óptica e cortes onde a identificação do núcleo do cristalino era mais fácil. A selecção destes cortes foi, também, auxiliada através de ajustes nas propriedades da imagem, nomeadamente brilho, contraste, gama e aplicação de alguns filtros. Além disto, a distinção e delimitação da região do núcleo foram, igualmente, assistidas, através do gráfico de densidade que, a partir das suas características, possibilitou a identificação dos limites das várias regiões que constituem o cristalino, particularmente a cápsula e núcleo. Seleccionados os 9 cortes, delimitou-se, em cada um, a área da região do núcleo do cristalino, através de uma linha, de forma a obterem-se os valores da densidade média e máxima. Estes valores são determinados pelo sistema Pentacam, em percentagem (%), através de uma tabela. No entanto, frequentemente, o valor máximo devolvido pelo sistema não correspondia ao verdadeiro. Assim, quando ocorrida esta situação, este valor era investigado, manualmente, através dos picos do gráfico de densidade. Obtidos os valores de densidade para todos os cortes seleccionados, procedeu-se ao cálculo da respectiva média, adquirindo-se um valor de densidade óptica para cada exame analisado.

Todo o processo, anteriormente descrito, foi repetido para todos os exames e encontra-se ilustrado na Figura 4.2.

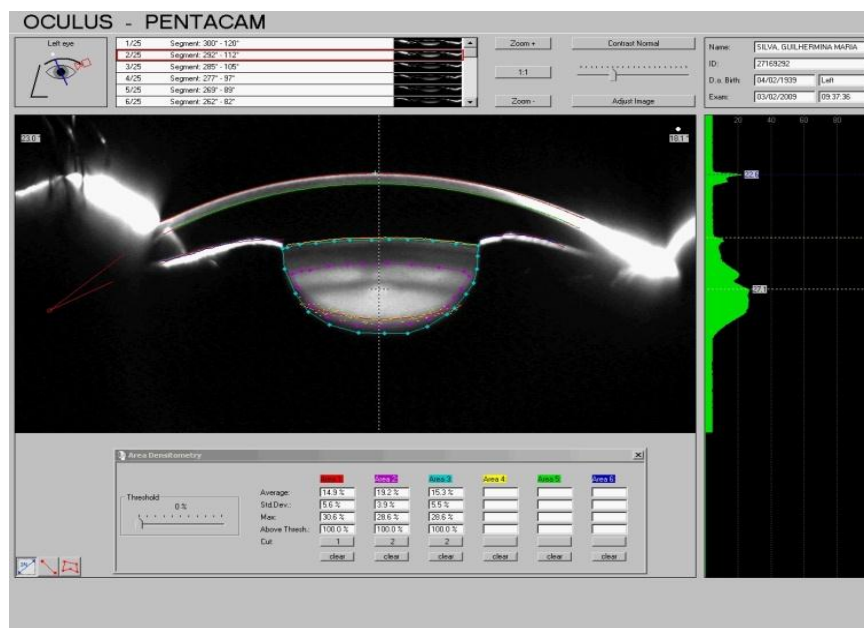


Figura 4.2: Módulo imagens Scheimpflug do sistema Pentacam. No centro é apresentada a imagem Scheimpflug do segmento anterior do olho e cristalino e do lado direito o gráfico de densidade. As linhas coloridas na imagem delimitam a área que se pretende medir – cristalino com uma linha azul e respectivo núcleo com uma linha a vermelho. A tabela apresentada devolve os valores de densidade média e máxima, em percentagem, e cada coluna colorida corresponde à respectiva área colorida desenhada na imagem Scheimpflug.

### 4.2.2. Medição Automática

Como foi referido anteriormente, a densidade óptica do núcleo do cristalino foi medida automaticamente através do novo programa, integrado no sistema Pentacam, denominado de PNS. Este novo programa disponibiliza automaticamente os valores de densidade média e máxima, numa escala de 0 a 100, independentemente do corte seleccionado. Além destes valores, o programa permite, ainda, ajustar a área que se pretende medir, adequando os valores do diâmetro, altura e curvaturas anterior e posterior ao formato da lente do cristalino. Devolve também uma imagem a 3D da catarata, assim como o respectivo grau.

Este novo programa está representado na Figura 4.3.

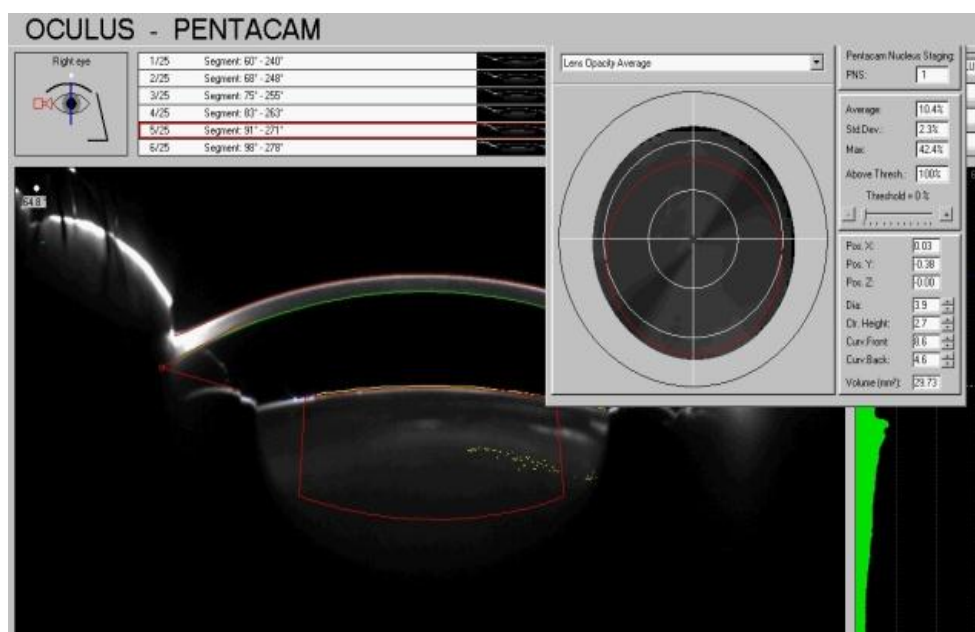


Figura 4.3: Imagem Scheimpflug e do lado direito o programa PNS. Este programa consiste numa janela, na qual está representada, no centro, uma imagem da catarata; no lado superior direito, o grau da mesma; no centro do lado direito os valores de densidade média e máxima e no lado inferior direito, as coordenadas do anel na imagem da catarata, valores do diâmetro, altura, curvaturas anterior e posterior da região medida e volume da catarata.

## 4.3. Classificação das Cataratas em Graus

Medida a densidade óptica do núcleo do cristalino, procedeu-se à classificação das cataratas em graus, através de dois sistemas distintos: o LOCS III (10) e o PNS (27).

### 4.3.1. Sistema de classificação LOCS III

De acordo com o sistema LOCS III (10) e através das suas imagens padrão, avaliou-se o tom da cor do núcleo do cristalino dos pacientes, que constituíam a população em estudo. Esta avaliação foi executada por um oftalmologista que, através de um exame ao cristalino por lâmpada de fenda, definiu, numa escala de 0 a 6, qual o grau da catarata em causa,

baseando-se na cor do núcleo do cristalino (CN). As imagens padrão deste sistema de classificação estão representadas na Figura 4.4

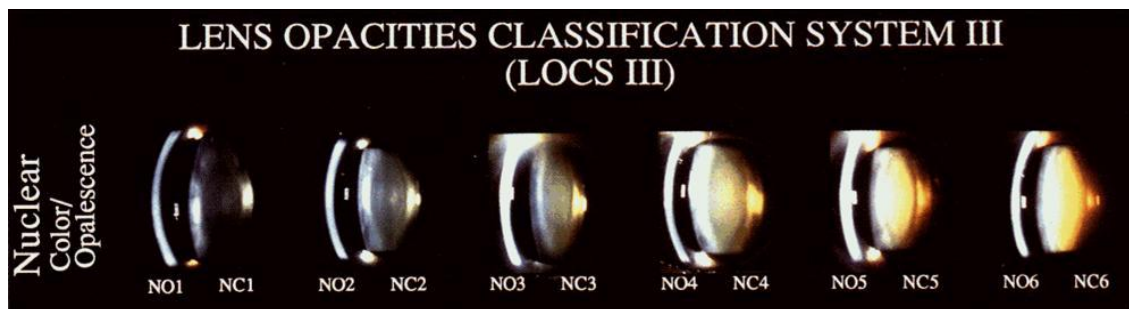


Figura 4.4: Imagens padrão do sistema LOCS III para a cor do núcleo do cristalino (10). Este conjunto de imagens padrão é o utilizado para a classificação de imagens padronizadas de opacidade. ON1 a ON6 e CN1 e CN6 são as imagens padrão para a opalescência e cor nuclear, respectivamente (10). (Adaptado)

#### 4.3.2. Sistema de classificação PNS

Neste trabalho será denominado por “Sistema de Classificação PNS” o sistema que se encontra disponibilizado no novo programa, o PNS, integrado no sistema Pentacam, que classifica as cataratas em graus, sem que seja necessária a avaliação de um oftalmologista. Desta forma, este sistema classifica, automaticamente, as cataratas em graus, numa escala de 0 a 5, tendo como base o valor da densidade óptica do núcleo do cristalino (27).

### 4.4. Procedimento da Facoemulsificação

Para a facoemulsificação, as cataratas são divididas em 5 graus, desde o Grau 1 até ao Grau 5, pelo que, para o estudo da relação da densidade óptica com os valores dos parâmetros da facoemulsificação, todas as cataratas classificadas no Grau 6, com o sistema LOCS III, foram consideradas como cataratas no Grau 5 para o procedimento da cirurgia.

Durante o procedimento cirúrgico, os valores do fluxo, vácuo e potência dos ultra-sons foram ajustados para cada grau da catarata. Estes valores foram programados no modo Linear, ou seja, o parâmetro programado aumentou desde o seu valor mínimo até ao máximo pré-definido pelo cirurgião. O controlo do parâmetro a ser aplicado e respectivos valores foi realizado através de um pedal, o qual possui quatro posições (0, 1, 2 e 3), separadas por três intervalos de movimentação vertical (44). Deste modo, a Posição 0 corresponde à posição de descanso, na qual o sistema não está activo. Quando o pedal passa para a Posição 1 é activado o fluxo (cc/min), representando o volume de fluido (cc) que entra para a câmara anterior do olho, por unidade de tempo (min). Para este trabalho, o fluxo teve como valor mínimo 0cc/min e valores máximos 35cc/min para os graus 1 e 2 e 32cc/min para os graus 3, 4 e 5. Com o pedal na Posição 2 é activado o vácuo, que se define como a pressão, em mmHg, criada na ponta da sonda da FACO que atrai os fragmentos nucleares. Este parâmetro foi

programado para um valor mínimo de 0 mmHg e valores máximos de 500 mmHg para os graus 1 e 2 e 350mmHg para os restantes graus. Na Posição 3 são aplicados os ultra-sons, para emulsionar o núcleo do cristalino. Este parâmetro não variou com o grau da catarata, tendo sido programado com um valor mínimo de 10% e um valor máximo de 30%. É de salientar que os valores descritos para os parâmetros da facoemulsificação resultaram do protocolo do cirurgião, pelo que, poderão variar com outro tipo de protocolo. Os correspondentes valores para a potência dos ultra-sons em unidades de Watts encontram-se no Anexo I. A Tabela 4.1 representa os valores dos parâmetros da facoemulsificação para os diferentes graus da catarata.

Tabela 4.1: Valores dos parâmetros da facoemulsificação, segundo o protocolo do cirurgião.			
Parâmetros da Facoemulsificação			
Grau	Fluxo (cc/min)	Vácuo (mmHg)	Potência (%)
1	0-35	0-500	10-30
2			
3	0-32	0-350	
4			
5			

## 4.5. Análise Estatística

Para a análise estatística deste estudo clínico foi utilizado o Programa Estatístico para as Ciências Sociais – SPSS *Statistics* 17.0. Todos os resultados estatísticos com um valor-p inferior a 0,05 foram considerados estatisticamente significativos e com um valor R superior a 0,5 linearmente relacionados.

O estudo estatístico dividiu-se em duas análises:

- Relação da densidade óptica do núcleo do cristalino com os graus dos dois sistemas de classificação utilizados;
- Relação entre a densidade óptica do núcleo do cristalino e os parâmetros da facoemulsificação – fluxo, vácuo e potência dos ultra-sons.

Salienta-se que as duas análises estatísticas foram realizadas separadamente para o grupo de pupilas normais e para o grupo de pupilas dilatadas.

#### 4.5.1. Relação da densidade óptica com os sistemas de classificação

Com o objectivo de se estudar a relação entre a densidade óptica do núcleo do cristalino e os sistemas de classificação LOCS III e PNS, estabeleceu-se para cada grau de catarata um valor médio e máximo de densidade óptica. Esta análise foi realizada tanto para as medições manuais como as automáticas, possibilitando a comparação entre os dois modos. Além disso, o facto de a análise ser feita, igualmente, em separado para os grupos anteriormente estabelecidos, facultou a comparação dos resultados obtidos entre eles.

#### 4.5.2. Relação da densidade óptica com os parâmetros da facoemulsificação

Visto que, segundo o protocolo do cirurgião, não foi feita uma distinção dos valores de fluxo e vácuo nos Graus 1 e 2 e também nos Graus 3, 4 e 5, formaram-se dois agrupamentos com os graus não distinguidos, no sentido de se estudar a dependência destes parâmetros com a densidade óptica do núcleo do cristalino. Desta forma, denominou-se de  $A_{G1-2}$  ao agrupamento (A) dos graus (G) 1 e 2 com valores máximos de fluxo e vácuo 35cc/min e 500mmHg, respectivamente. O agrupamento dos graus 3, 4 e 5 foi designado de  $A_{G3-4-5}$ , sendo-lhe atribuído os valores máximos de 32cc/min e 350mmHg para o fluxo e o vácuo, respectivamente. A Tabela 4.2 apresenta os agrupamentos mencionados, respectivos graus de catarata e valores de fluxo e de vácuo.

**Tabela 4.2: Agrupamentos, respectivos graus de catarata e valores de fluxo e de vácuo.**

Parâmetros da Facoemulsificação			
Agrupamento (A)	Grau (G)	Fluxo (cc/min)	Vácuo (mmHg)
$A_{G1-2}$	1	0-35	0-500
	2		
$A_{G3-4-5}$	3	0-32	0-350
	4		
	5		

Salienta-se que, para este segundo estudo estatístico, a potência dos ultra-sons não foi estudada, uma vez que, segundo o protocolo do cirurgião, os seus valores não variam com o grau da catarata.





### *Resultados e Discussão*

---

Neste capítulo, serão apresentados e analisados os resultados obtidos neste estudo clínico dividido em duas análises.

Assim sendo, a primeira análise refere-se ao estudo da relação entre a densidade óptica do núcleo do cristalino, medida através do sistema Pentacam, e os graus dos dois sistemas de classificação, o LOCS III e o PNS. Na segunda análise, proceder-se-á ao estudo do comportamento da densidade óptica com os parâmetros da facoemulsificação. As duas análises serão realizadas, separadamente, quer para o grupo com pupilas normais quer para o grupo com pupilas dilatadas.

#### **5.1. Relação da densidade óptica com o LOCS III e PNS**

A análise, que de seguida se apresenta, é realizada para o sistema LOCS III e PNS, nos dois grupos de pacientes anteriormente estabelecidos. Estes dois sistemas de classificação diferem entre si, devido à utilização de critérios distintos na avaliação da catarata em graus. Deste modo, será feita, também, uma comparação dos resultados obtidos com os dois sistemas e, ainda, entre os grupos de pacientes. Salienta-se que, nesta primeira análise, serão estudados tanto os valores de densidade média como os valores relativos à densidade máxima, todos eles adquiridos nos modos manual e automático com o sistema Pentacam. Assim, o facto de se terem utilizado dois modos diferentes facultou, igualmente, a comparação entre os resultados obtidos nos dois modos, pelo que, esta comparação será, também, aduzida a cada um dos grupos.

### 5.1.1. Grupo com Pupilas Normais

A análise da densidade óptica com o sistema de classificação LOCS III baseou-se num total de 12 pacientes avaliados, sendo 20 olhos analisados. Destes 20 olhos, 11 exames corresponderam ao olho direito e 9 ao olho esquerdo. A listagem do número de medições da densidade óptica, em cada corte seleccionado para cada paciente, é apresentada no Apêndice I.

O estudo referente à relação entre a densidade óptica e o sistema de classificação PNS foi fundamentado na avaliação de 13 pacientes, num total de 22 olhos examinados. Neste grupo, 11 exames eram relativos ao olho direito e os outros 11 ao olho esquerdo. No Apêndice II são mostradas as medições da densidade óptica, em cada corte escolhido, relativas aos pacientes avaliados com este sistema de classificação.

#### 5.1.1.1. Sistema de Classificação LOCS III

O sistema de classificação LOCS III (10) classifica as cataratas numa escala decimal de 0,1 a 6,9 para a cor nuclear (CN), com intervalos igualmente espaçados. Esta classificação é baseada na comparação do núcleo do cristalino examinado com as imagens padrão do LOCS III. Contudo, neste estudo clínico não se utilizou a escala decimal, tendo sido usada uma escala de 0 a 6 para classificar as cataratas.

De seguida, os gráficos da Figura 5.1 e Figura 5.2 exibem os resultados obtidos para a relação da densidade média e máxima com o LOCS III, nos modos manual e automático, respectivamente.

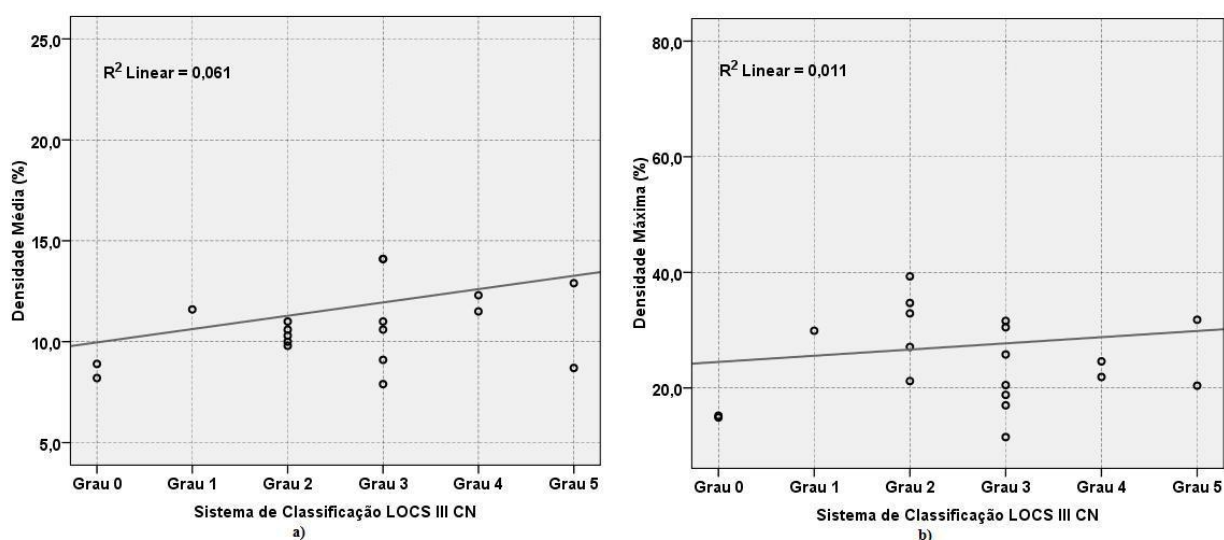


Figura 5.1: Representação gráfica da relação da densidade óptica com os graus CN do LOCS III, no modo manual, para o grupo com pupilas normais. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima.

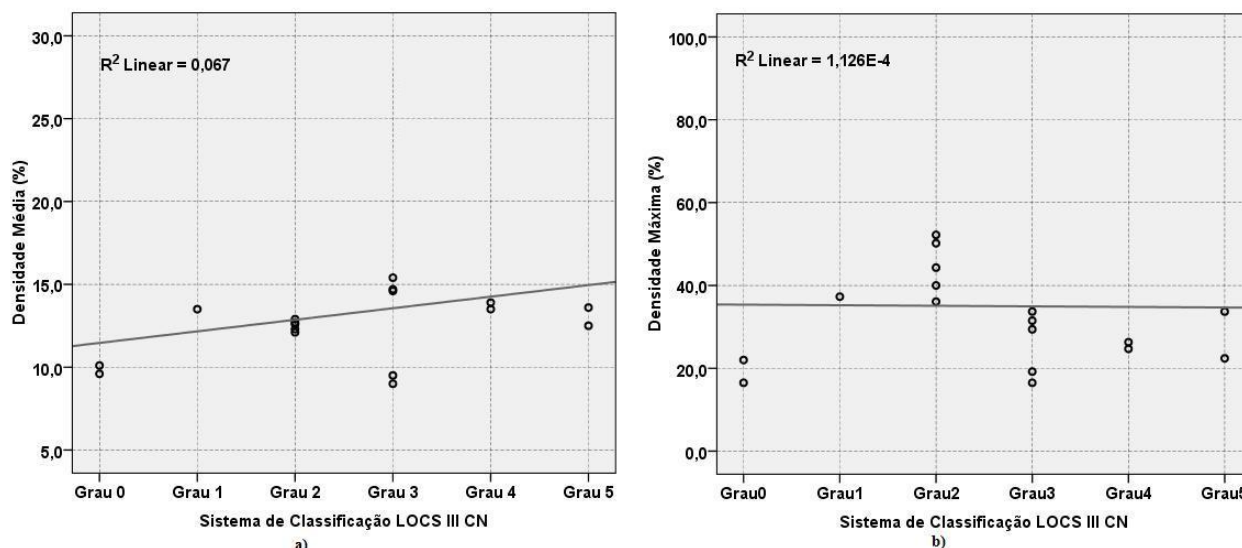


Figura 5.2: Representação gráfica da relação da densidade óptica com os graus CN do LOCS III, no modo automático, para o grupo com pupilas normais. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima.

Dos gráficos representados na Figura 5.1 e Figura 5.2 não é evidenciada uma relação entre os valores de densidade óptica e os graus CN do LOCS III, tanto no modo manual como no automático. Esta constatação não só é fundamentada pela aparência dos gráficos como também pelos respectivos valores estatísticos, ilustrados na Tabela 5.1 e Tabela 5.2.

Tabela 5.1: Valores estatísticos para a densidade média, com o LOCS III, no grupo com pupilas normais.

Densidade Média			
Modo	$R^2$	R	p-valor
Manual	0,061	0,25	0,29
Automático	0,067	0,26	0,30

Tabela 5.2: Valores estatísticos para a densidade máxima, com o LOCS III, no grupo com pupilas normais.

Densidade Máxima			
Modo	$R^2$	R	p-valor
Manual	0,011	0,10	0,66
Automático	1,13e-4	0,01	0,98

Assim, pelas tabelas acima apresentadas, constata-se que, para a densidade média, os valores do coeficiente de correlação simples (R) são 0,25 ( $p=0,29$ ) e 0,26 ( $p=0,30$ ) para os modos manual e automático respectivamente, e que para a densidade máxima são 0,10 ( $p=0,66$ ) no modo manual e 0,01 ( $p=0,98$ ) no modo automático. Estes valores demonstram que a correlação entre a densidade e a cor nuclear não é estatisticamente significativa ( $p>0,05$ ) e que estas variáveis não estão linearmente relacionadas ( $R \approx 0$ ).

Face a estes resultados, concluiu-se que a densidade óptica não aumenta uniformemente com a cor do núcleo do cristalino. Apesar de este comportamento não estar de

acordo com a literatura (26), a qual prevê que a densidade óptica aumente linearmente com o avanço dos graus CN do LOCS III; ele é, frequentemente, observado na prática clínica. Clinicamente, presencia-se que um aumento da densidade óptica do núcleo do cristalino não implica um tom mais escuro nesta região anatómica, pelo que, densidade óptica e cor são duas formas diferentes de conduzir a uma catarata e, consequentemente, prejudicar a visão. De facto, o aumento da densidade óptica está mais associado às modificações ocorrentes nas estruturas das proteínas do cristalino, que conduzem a um aumento da opacificação do mesmo (1); enquanto o tom mais escuro da cor do núcleo do cristalino está mais relacionado com o aumento da concentração de pigmentos de cor, entre o vermelho e o castanho, que o escurecem (1). Desta forma, os resultados obtidos mostram, igualmente, que densidade óptica e cor são métodos de avaliação diferentes, podendo conduzir a diagnósticos distintos. É de salientar, ainda, que a diferenciação dos diagnósticos pode também advir do facto de a cor ser um critério de avaliação mais subjectivo, atendendo a que esta avaliação pode variar consoante o oftalmologista, enquanto o valor da densidade óptica do cristalino, medido através do sistema Pentacam, é um método mais objectivo.

A Tabela 5.3 e a Tabela 5.4, que de seguida se aduzem, integram, respectivamente, os valores de densidade média e máxima e correspondentes desvios-padrão (DP), para os modos manual e automático.

**Tabela 5.3: Densidade Média em cada grau CN do LOCS III, para os valores manuais e automáticos no grupo de pupilas normais.**

Grau	Densidade Média (%) $\pm$ DP	
	Valores Manuais	Valores Automáticos
0	9 $\pm$ 1	10,0 $\pm$ 0,4
1	12,0 $\pm$ 0,5	14,0 $\pm$ 0,5
2	11,0 $\pm$ 0,5	13,0 $\pm$ 0,3
3	14 $\pm$ 5	15 $\pm$ 6
4	12,0 $\pm$ 0,6	14,0 $\pm$ 0,3
5	11 $\pm$ 3	13,0 $\pm$ 0,8

**Tabela 5.4: Densidade Máxima em cada grau CN do LOCS III, para os valores manuais e automáticos no grupo de pupilas normais.**

Grau	Densidade Máxima (%) $\pm$ DP	
	Valores Manuais	Valores Automáticos
0	15,0 $\pm$ 0,2	19 $\pm$ 4
1	30,0 $\pm$ 0,5	37,0 $\pm$ 0,5
2	31 $\pm$ 7	45 $\pm$ 7
3	20 $\pm$ 21	37 $\pm$ 29
4	23 $\pm$ 2	26 $\pm$ 1
5	26 $\pm$ 8	28 $\pm$ 8

A partir da Tabela 5.3 e da Tabela 5.4 constata-se que, tanto para o modo manual como para o automático, os desvios-padrão respeitantes ao Grau 3 são elevados, sendo para a densidade média  $\pm 5\%$  e  $\pm 6\%$  para os valores manuais e automáticos, respectivamente, e para a densidade máxima  $\pm 21\%$  no modo manual e  $\pm 29\%$  no modo automático. Estes valores indicam que a dimensão da amostra, estudada neste trabalho, devia ter sido maior, no sentido de os valores de densidade óptica serem mais exactos em cada grau CN do sistema LOCS III. O facto de a dimensão da amostra ser pequena é, ainda, enfatizado pela ausência de casos clínicos no Grau 6. No entanto, além da dimensão da amostra, os resultados obtidos podem ter sido, igualmente, afectados pela não avaliação das cataratas numa escala decimal e, ainda, devido à dificuldade de identificar e delimitar a região do núcleo do cristalino, no sistema Pentacam, uma vez que nem todas as cataratas avaliadas eram nucleares.

De seguida, apresentam-se as comparações dos resultados obtidos nos modos manual e automático para o número de casos clínicos avaliados e para a densidade óptica média e máxima, através dos gráficos de barras representados na Figura 5.3, Figura 5.4 e Figura 5.5, respectivamente.

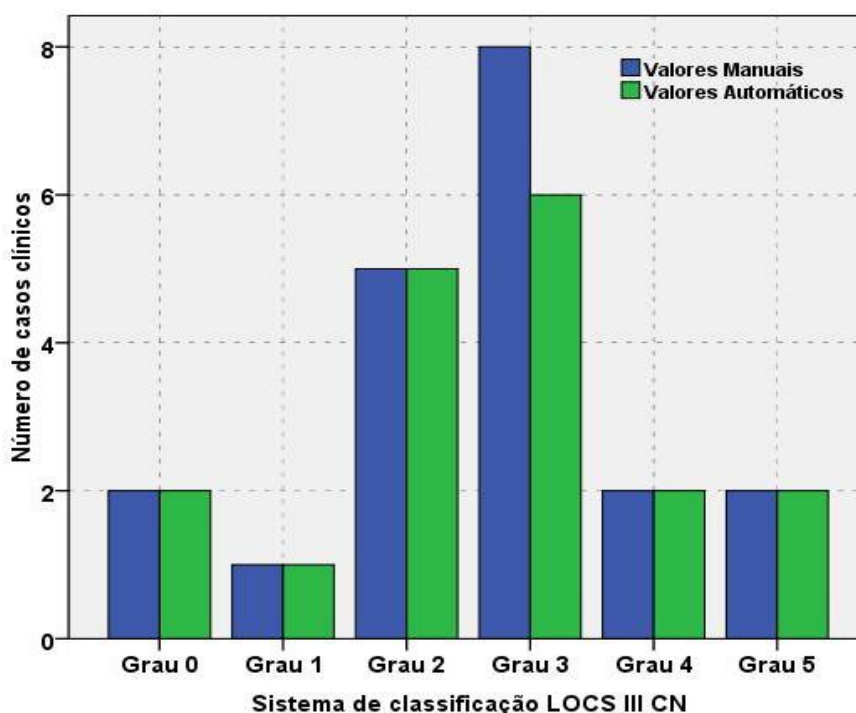


Figura 5.3: Comparação do número de casos clínicos entre os modos manual e automático, para o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas normais.

A partir do gráfico da Figura 5.3 verifica-se que o número de casos clínicos avaliados, para os modos manual e automático, é o mesmo, exceptuando para o Grau 3. Para este grau, a existência de uma diferença de 2 casos clínicos entre os dois modos – 8 casos para o modo manual e 6 casos para o automático – é explicada pelo facto de o programa PNS, o qual

permite extrair os valores de densidade automaticamente, exigir que o diâmetro das pupilas dos olhos avaliadas seja superior a 2mm, pelo que, os dois casos que não foram analisados com este programa não reuniam tais condições. É, igualmente, possível observar, através do gráfico da Figura 5.3, que o Grau 3 contém o maior número de casos clínicos, seguido do Grau 2. Esta característica do gráfico está em concordância com as expectativas, visto que, geralmente, os pacientes são indicados para a facoemulsificação, quando, no diagnóstico da cor do núcleo do cristalino, a catarata é avaliada como sendo uma catarata do Grau 2 ou do Grau 3. Salienta-se que os resultados obtidos no gráfico da Figura 5.3 foram os mesmos para a medição da densidade óptica média e máxima.

Seguidamente, ilustra-se a comparação dos resultados obtidos nos modos manual e automático, para a medição da densidade média representada na Figura 5.4.

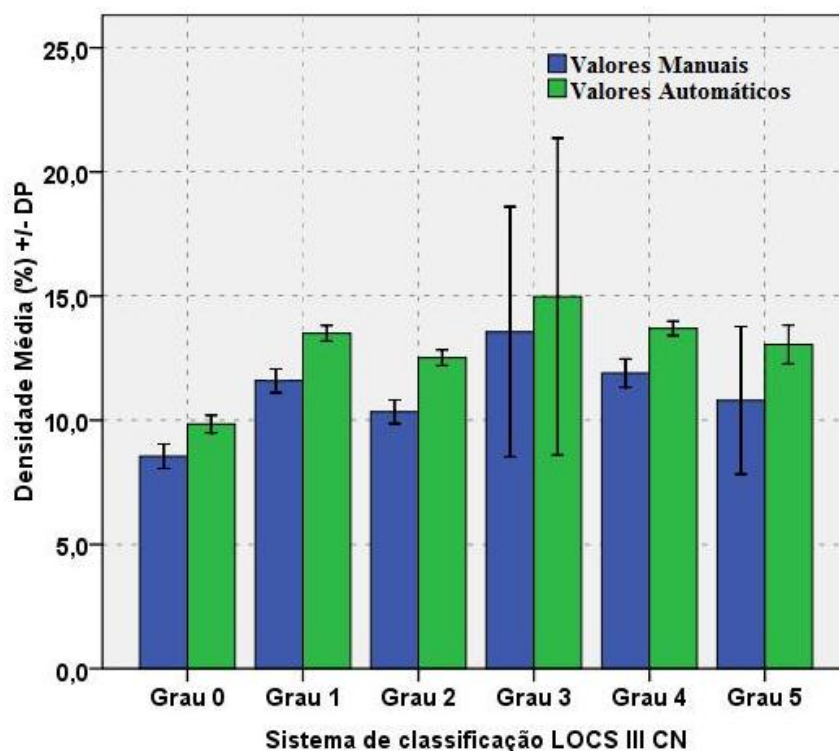


Figura 5.4: Comparação dos valores de densidade média (%) entre os modos manual e automático, para o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas normais.

O gráfico da Figura 5.4 representa a comparação dos valores de densidade óptica média nos modos manual e automático, possibilitando verificar que não existem diferenças significativas nas densidades medidas nos dois modos. As pequenas diferenças observadas entre eles podem ter ocorrido devido a pequenas incorrecções na delimitação manual da região que se pretendia medir ou diferenças na área seleccionada nos modos manual e automático. Além disto, os resultados podem ter sido, igualmente, afectados, devido ao facto de, no modo manual, ter sido necessário seleccionarem-se 9 cortes e a partir destes calcular-se

o respectivo valor médio da densidade óptica, enquanto no modo automático, o valor devolvido de densidade óptica, pelo sistema Pentacam, é independente do corte seleccionado.

O gráfico da Figura 5.5 apresenta a comparação entre os modos manual e automático dos resultados obtidos para a densidade máxima.

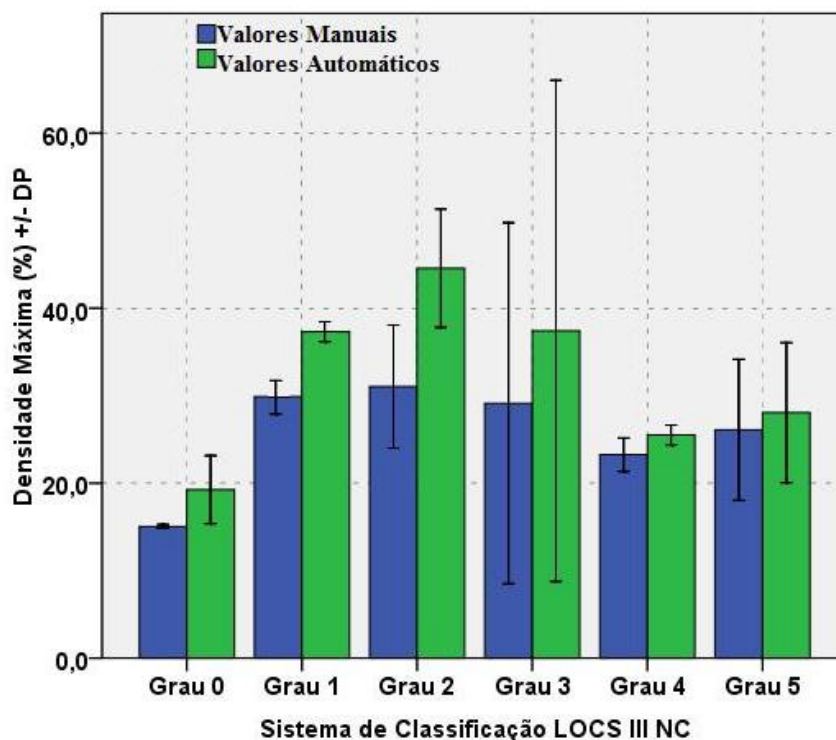


Figura 5.5: Comparação entre os modos manual e automático dos resultados obtidos para a densidade máxima, com o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas normais.

As diferenças observadas no gráfico da Figura 5.5, para a densidade máxima, apesar de não serem muito significativas, são superiores às encontradas no gráfico relativo à comparação das densidades médias nos dois modos, representada na Figura 5.4. Deste modo, constata-se que, a partir do gráfico da Figura 5.5, as diferenças nos valores da densidade máxima são mais acentuadas no Grau 1 ( $\approx 7\%$ ), Grau 2 ( $\approx 14\%$ ) e no Grau 3 ( $\approx 8\%$ ). Apesar de, nos valores de densidade média, não se ter assistido a diferenças tão sublinhadas, os motivos, que conduziram às encontradas para a densidade máxima, são os mesmos que os referidos para a densidade média, particularmente o facto de, no modo manual, ter sido necessário calcular o valor médio dos 9 cortes seleccionados, enquanto no modo automático, o sistema Pentacam devolve o maior valor máximo encontrado na área delimitada, independentemente do corte seleccionado.

Ainda a partir dos gráficos da Figura 5.4 e da Figura 5.5 é possível apurar que os valores de densidade óptica extraídos no modo manual são sempre inferiores aos medidos no modo automático. Esta situação ocorre, porque, manualmente, a área seleccionada é maior do



que medida através do programa PNS, ou seja, utilizando este programa, a região delimitada é mais restrita, diminuindo, assim, o intervalo de valores de densidade óptica.

### 5.1.1.2. Sistema de Classificação PNS

O sistema de classificação PNS classifica as cataratas numa escala de 0 a 5, baseando-se no valor da densidade óptica do núcleo do cristalino (27). Esta caracterização da catarata em graus é realizada, automaticamente, pelo sistema Pentacam, sem que seja necessária a avaliação de um oftalmologista.

Seguidamente, os gráficos da Figura 5.6 e da Figura 5.7 apresentam os resultados obtidos, nos modos manual e automático respectivamente, para o estudo da dependência da densidade óptica média e máxima, com os graus da catarata do sistema de classificação PNS.

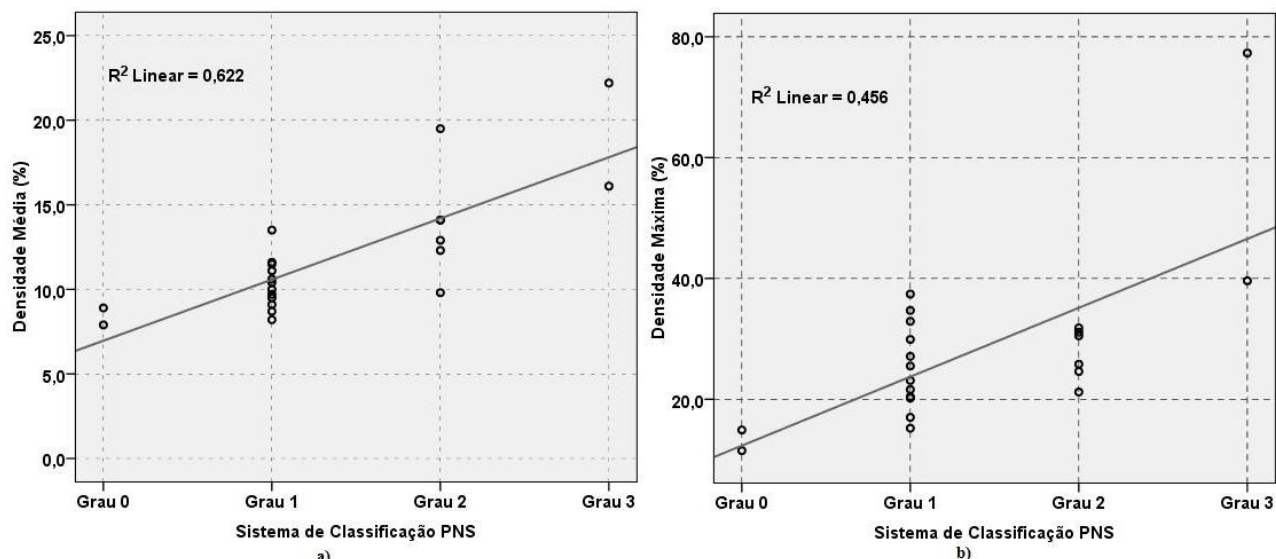


Figura 5.6: Representação gráfica da relação da densidade óptica com os graus do sistema PNS, no modo manual, para o grupo com pupilas normais. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima.

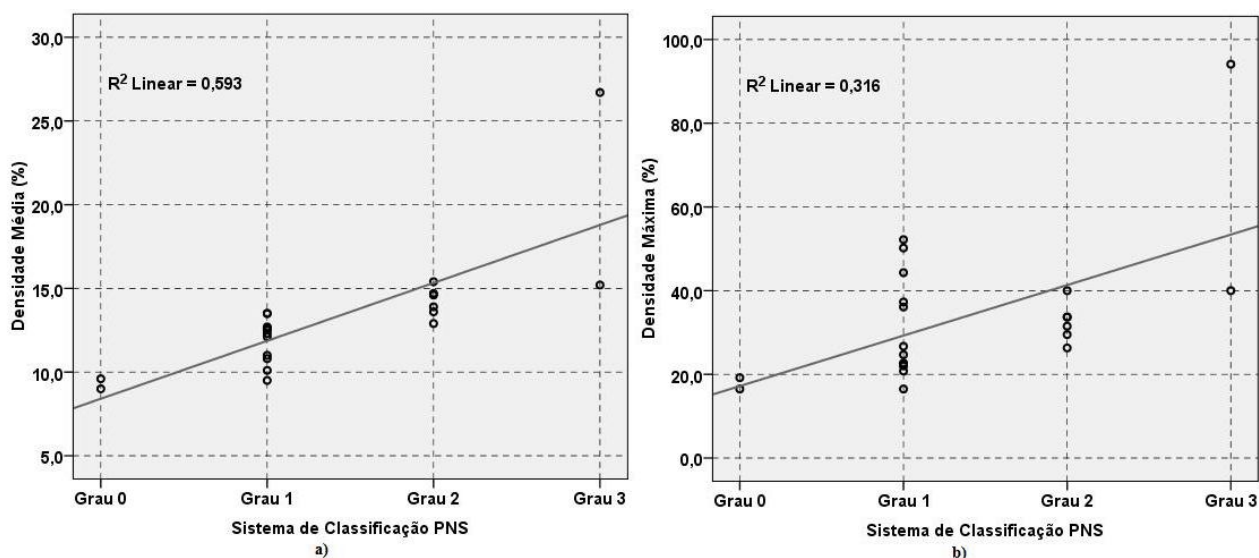


Figura 5.7: Representação gráfica da relação da densidade óptica, medida no modo automático, com os graus da catarata do sistema PNS. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima.



Os gráficos da Figura 5.6 e da Figura 5.7 exibem, tanto para a densidade média, Figura 5.6a) e Figura 5.7b), como para a densidade máxima, Figura 5.6a) e Figura 5.7b), em ambos os modos, uma relação linear crescente, até ao Grau 3, entre os valores de densidade óptica e os graus da catarata correspondentes ao sistema de classificação PNS. Esta relação é, ainda, realçada pelos valores estatísticos, que de seguida se apresentam na Tabela 5.5 e na Tabela 5.6.

**Tabela 5.5: Valores estatísticos para a densidade óptica média, com o sistema PNS, no grupo com pupilas normais.**

<b>Densidade Média</b>			
<b>Modo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R</b>	<b>p-valor</b>
Manual	0,622	0,79	0,000
Automático	0,593	0,77	0,000

**Tabela 5.6: Valores estatísticos para a densidade óptica máxima, com o sistema PNS, no grupo com pupilas normais.**

<b>Densidade Máxima</b>			
<b>Modo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R</b>	<b>p-valor</b>
Manual	0,456	0,68	0,001
Automático	0,316	0,56	0,003

Como se pode verificar pelas tabelas 5.5 e 5.6, os coeficientes de correlação simples (R), tanto para a densidade média (Tabela 5.5) como para a densidade máxima (Tabela 5.6), nos dois modos, são superiores a 0,50 ( $p < 0,05$ ), demonstrando que as variáveis em estudo, ou seja, valores de densidade óptica e graus do sistema PNS, estão linearmente relacionadas, de uma forma positiva ( $R > 0$ ). Logo, os resultados estão de acordo com o esperado, visto que, o sistema de classificação PNS classifica as cataratas mediante o valor de densidade óptica do núcleo do cristalino (27) e, como tal, a densidade óptica deve aumentar com o avanço dos graus da catarata. Contudo, esta análise apenas pode ser efectuada até ao Grau 3, uma vez que não se obtiveram casos clínicos para o Grau 4 e Grau 5. No entanto, se a dimensão da amostra fosse aumentada, com casos clínicos nos referidos graus, seria de esperar que o comportamento, observado na Figura 5.6 e na Figura 5.7, se mantivesse, devido ao critério de classificação da catarata do sistema PNS.

Seguidamente, a Tabela 5.7 e a Tabela 5.8 apresentam, respectivamente, os valores de densidade óptica média e máxima, medidas manualmente e automaticamente, e, ainda, os correspondentes desvios-padrão, para cada grau da catarata do sistema PNS.

Tabela 5.7: Valores de densidade óptica média nos modos manual e automático, para cada grau de catarata do sistema PNS, no grupo de pupilas normais.

Densidade Média (%) $\pm$ DP		
Grau	Valores Manuais	Valores Automáticos
0	8,0 $\pm$ 0,7	9,0 $\pm$ 0,4
1	10 $\pm$ 2	12 $\pm$ 1
2	14 $\pm$ 3	14 $\pm$ 1
3	19 $\pm$ 4	21 $\pm$ 8

Tabela 5.8: Valores de densidade óptica máxima nos modos manual e automático, para cada grau de catarata do sistema PNS, no grupo de pupilas normais.

Densidade Máxima (%) $\pm$ DP		
Grau	Valores Manuais	Valores Automáticos
0	12 $\pm$ 3	18 $\pm$ 2
1	25 $\pm$ 7	31 $\pm$ 12
2	28 $\pm$ 5	33 $\pm$ 5
3	59 $\pm$ 27	67 $\pm$ 38

Como já foi referido anteriormente, para o sistema PNS existe um aumento linear da densidade óptica com o aumento dos graus da catarata. No entanto, quando analisados os valores manuais e automáticos correspondentes à densidade máxima, que integram a Tabela 5.8, observa-se que, apesar de existir um aumento dos valores de densidade óptica, a diferença destes entre o Grau 1 e o Grau 2 é pequena ( $\approx 3\%$  para o modo manual e  $\approx 2\%$  para o modo automático). Esta situação pode resultar da pequena dimensão da amostra estudada que não possibilitou uma melhor diferenciação dos valores máximos, nos referidos graus.

A partir dos valores da Tabela 5.7 verifica-se que, para o Grau 3, o desvio-padrão para os valores automáticos é de  $\pm 8\%$ . Para os valores da Tabela 5.8 observa-se que o desvio-padrão, no Grau 3, para os valores manuais é de  $\pm 27\%$  e para os valores automáticos é de  $\pm 38\%$ . Desta forma, também para este sistema de classificação, as tabelas apresentadas evidenciam valores de desvios-padrão, significativamente, elevados, nomeadamente no Grau 3 para a densidade máxima (Tabela 5.8). Assim, o facto de os desvios-padrão serem elevados revela que a dimensão da amostra estudada foi pequena. Efectivamente, o intervalo de densidades em cada grau é elevado, e como tal, torna-se difícil distinguir o valor mais correcto em cada e, consequentemente, uma análise mais exacta dos resultados obtidos.

As figuras, que de seguida se apresentam, comparam os resultados obtidos entre os dois modos para o número de casos clínicos, representados na Figura 5.8, e as densidades médias e máximas são ilustradas pelas Figura 5.9 e Figura 5.10, respectivamente.

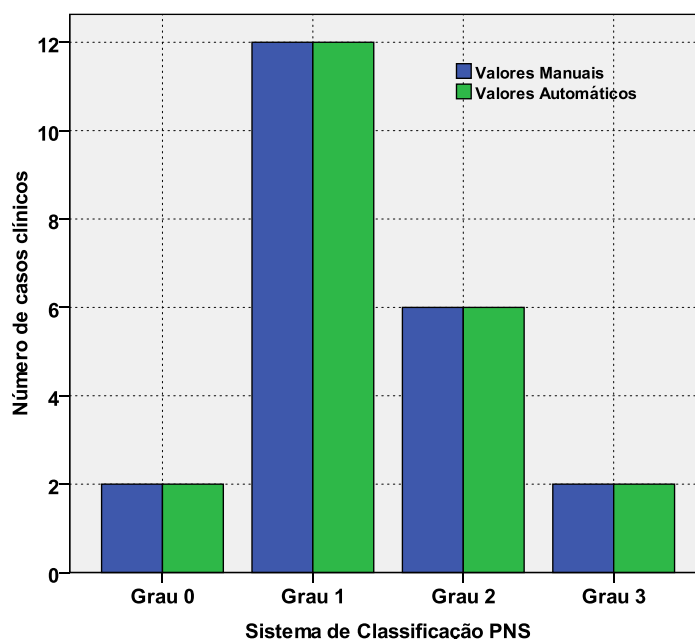


Figura 5.8: Comparação do número de casos clínicos entre os modos manual e automático, para o sistema PNS, no grupo com pupilas normais.

O gráfico da Figura 5.8 mostra que o número de casos clínicos nos dois modos foi o mesmo, tanto para as medições da densidade média como máxima. No entanto, mais uma vez se constata que a dimensão da amostra foi pequena, visto que o gráfico da Figura 5.8 evidencia a ausência de casos clínicos no Grau 4 e Grau 5. Relativamente à distribuição dos casos clínicos pelos graus da catarata, verifica-se que o Grau 1 integra o maior número de casos, seguido do Grau 2.

Seguidamente, apresenta-se a comparação dos valores de densidade óptica média e máxima entre os modos manual e automático.

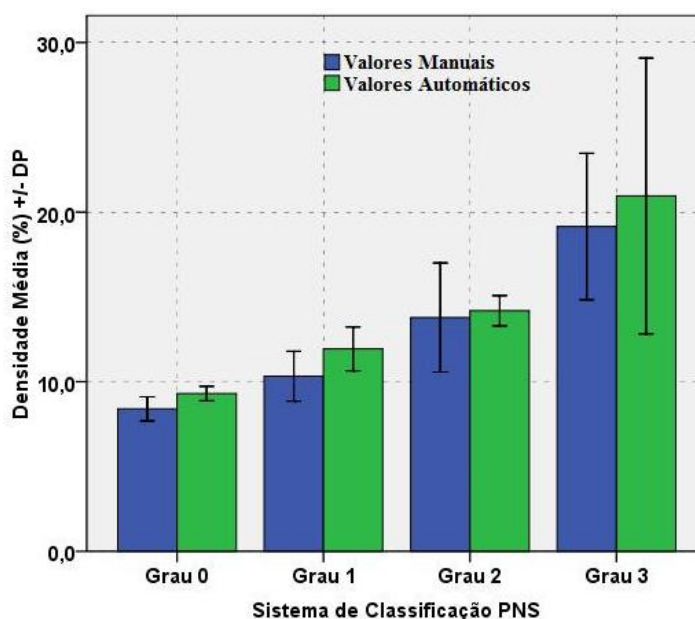


Figura 5.9: Comparação dos valores de densidade óptica média entre os modos manual e automático, para o sistema PNS, no grupo com pupilas normais.

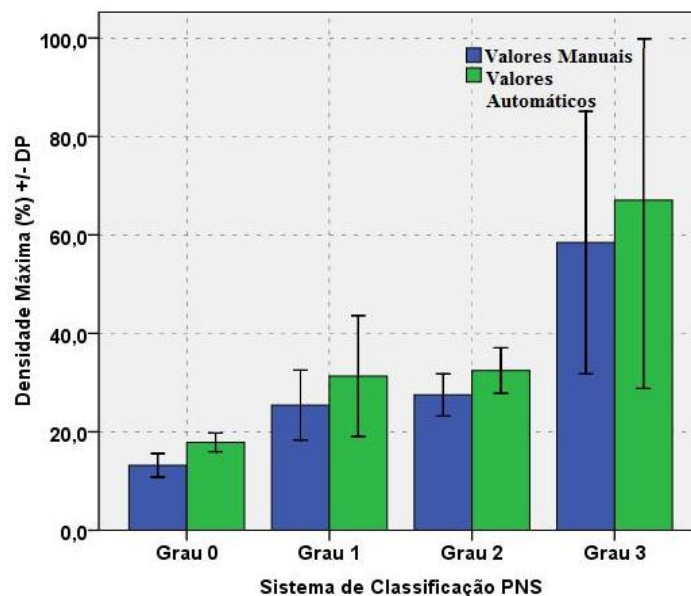


Figura 5.10: Comparação dos valores de densidade óptica máxima entre os modos manual e automático, para o sistema PNS, no grupo de pupilas normais.

As representações gráficas anteriores, ou seja, o gráfico da Figura 5.9 e da Figura 5.10 ilustram pequenas diferenças entre os valores obtidos manualmente e automaticamente, tanto para a densidade média como máxima, isto é, a diferença entre os dois modos não é significativa. A diferenciação observada pode dever-se a incorrecções na delimitação manual da área medida; diferenças nas áreas medidas nos modos manual e automático, ou ainda devido a imprecisões resultantes do cálculo matemático da média da densidade óptica dos 9 cortes seleccionados manualmente. Esta última situação não sucede nos valores automáticos, visto que estes valores são adquiridos pelo programa PNS, o qual devolve o valor de densidade média e máxima, independentemente do corte seleccionado. Mais uma vez, se averigua que, tanto para a densidade média como para a máxima, os valores obtidos no modo manual são inferiores aos do modo automático. Tal situação é verificada, porque a região seleccionada com o sistema PNS é mais restrita do que no modo manual.

### 5.1.1.3. Comparação entre os sistemas LOCS III e PNS

De seguida, apresentar-se-á a comparação entre os dois sistemas de classificação de cataratas, tanto para o modo manual como para o automático, para os resultados do número de casos clínicos e densidades óptica média e máxima.

#### 5.1.1.3.1. Número de Casos Clínicos

A seguinte representação gráfica é referente à comparação do número de casos clínicos entre os dois sistemas de classificação usados neste trabalho, ou seja, o LOCS III e o PNS.

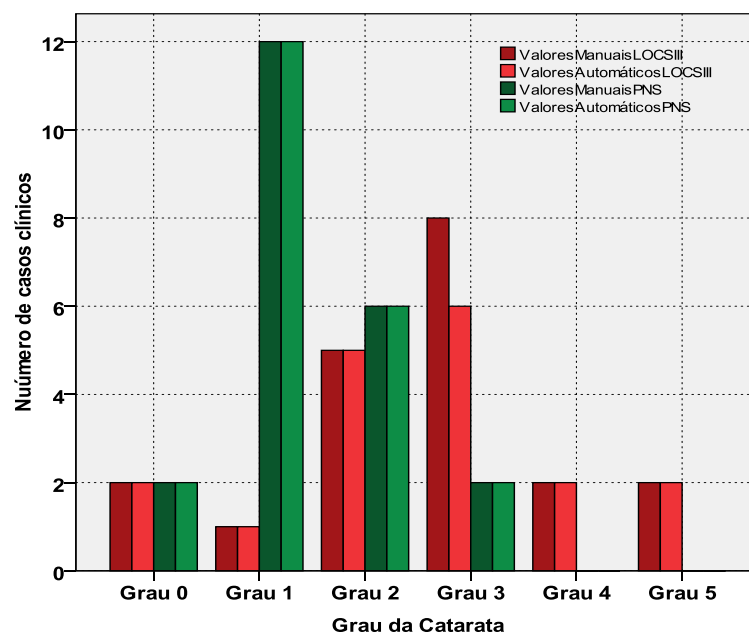


Figura 5.11: Comparação do número de casos clínicos entre os sistemas LOCS III e PNS, no grupo com pupilas normais.

Observando o gráfico da Figura 5.11, verifica-se que a distribuição dos casos clínicos pelos graus da catarata no sistema LOCS III (a cor vermelha) é diferente da homóloga para o sistema PNS (a verde), uma vez que, para este último, o grau com maior número de casos clínicos é o Grau 1, ao passo que no sistema LOCS III é o Grau 3. Desta forma, esta situação vem realçar o facto de o LOCS III e o PNS serem métodos de avaliação diferentes, visto que possuem critérios de apreciação distintos (cor para o LOCS III e valor de densidade óptica para o PNS), que podem resultar em diagnósticos divergentes, tal como é demonstrado no gráfico da Figura 5.11. Acrescenta-se, ainda, à análise do gráfico que o sistema PNS necessita de um número maior de casos clínicos do que o LOCS III, para estudar todos os graus da catarata, isto porque, com, praticamente, o mesmo número de casos, para o sistema PNS avaliaram-se, somente, 4 graus (0, 1, 2 e 3), enquanto no sistema LOCS III apenas o Grau 6 não foi estudado.

#### 5.1.1.3.2. Densidade Óptica

As figuras apresentadas, seguidamente, são respeitantes à comparação dos valores de densidade média e máxima, respectivamente, entre os sistemas de classificação LOCS III e PNS.

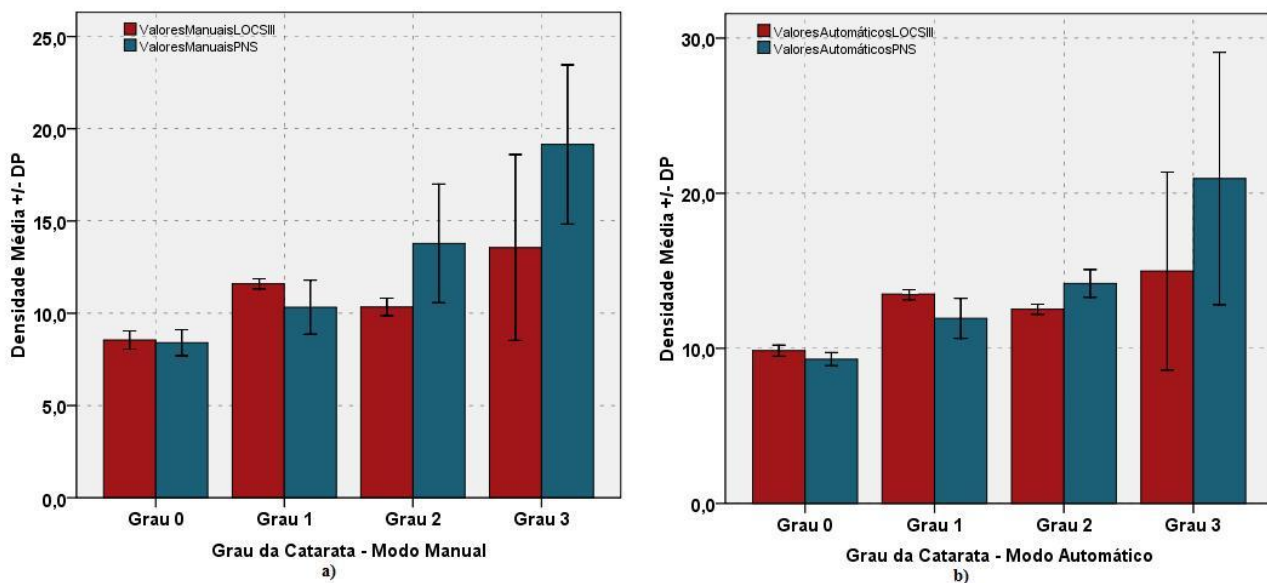


Figura 5.12: Comparação dos valores de densidade óptica média entre os sistemas LOCS III e PNS, no grupo com pupilas normais. a) Modo Manual. b) Modo Automático.

Os gráficos representados na Figura 5.12 mostram que, tanto para o modo manual, Figura 5.12a), como para o automático, Figura 5.12b), para os graus 0 e 1, o sistema LOCS III (a cor vermelha) apresenta densidades de, aproximadamente, 9% e 13%, respectivamente. Por outro lado, os mesmos gráficos demonstram que as densidades ópticas, para os referidos graus, no sistema PNS (a cor azul) são, sensivelmente, 9% e 11%. Deste modo, estes resultados revelam que os valores de densidade média, para os graus 0 e 1, são muito idênticos no sistema LOCS III e PNS.

Os resultados obtidos, para a densidade máxima nos dois sistemas, encontram-se representados nos gráficos da Figura 5.13.

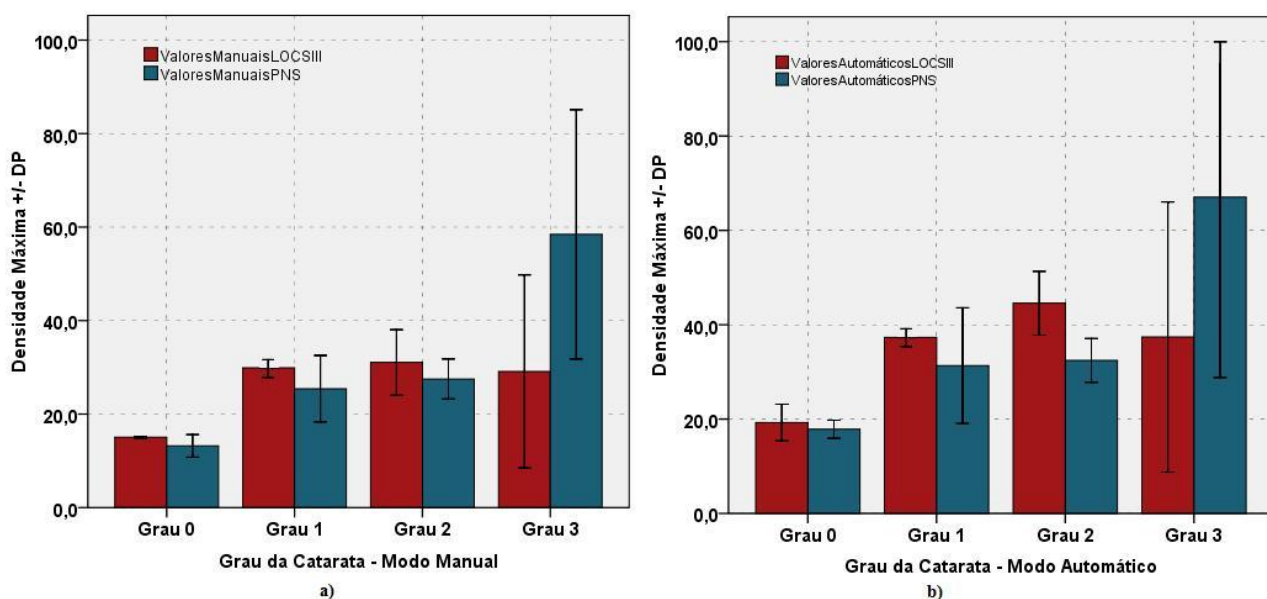


Figura 5.13: Comparação dos valores de densidade óptica máxima entre os sistemas LOCS III e PNS, no grupo com pupilas normais. a) Modo Manual. b) Modo Automático.

Para a densidade máxima, e mais uma vez, tanto para o modo manual, Figura 5.13a), como para o automático, Figura 5.13b), verifica-se que os valores de densidade máxima, no Grau 0 e Grau 1, referentes ao sistema LOCS III (a cor vermelha), são, sensivelmente, 17% e 34%, respectivamente. Relativamente ao sistema PNS (a cor azul), observa-se que o valor de densidade máxima para o Grau 0 é de, aproximadamente, 20% e para o Grau 1 de 28%. Assim, consta-se, também, que para a densidade máxima, os respectivos valores para os graus 0 e 1, nos dois sistemas, são bastante semelhantes.

Embora não se tenha observado uma dependência entre a densidade óptica do núcleo do cristalino e o seu tom de cor, quando comparados os dois sistemas de classificação, estes exibem valores de densidade óptica, seja média ou máxima, muito próximos nos graus 0 e 1, pelo que, nestes graus existe uma certa relação entre densidade óptica e cor. Face a esta situação, pode-se afirmar que, se a dimensão da amostra fosse aumentada, talvez fosse possível averiguar um aumento da densidade óptica com o tom mais escuro do núcleo do cristalino, tal como é referido na literatura (26).

### ***5.1.2. Grupo com Pupilas Dilatadas***

Para estudar a relação da densidade óptica do núcleo do cristalino com os graus da catarata do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas, estudaram-se 10 pacientes, sendo avaliados 15 olhos. Destes 15, 8 exames eram relativos ao olho direito e 7 ao olho esquerdo. A informação detalhada sobre as medições de densidade óptica em cada corte, para cada exame, encontra-se disponível no Apêndice V.

Relativamente ao estudo da densidade óptica com o sistema PNS, este foi fundamentado na avaliação de 9 pacientes, num total de 14 olhos analisados. Nesta amostra, 8 exames correspondiam ao olho direito e os restantes 6 ao esquerdo. Salienta-se que para utilizar o programa PNS, as pupilas tinham de possuir um diâmetro superior a 2mm. As medições de densidade óptica, em cada corte e em cada exame, referentes a este grupo, são apresentadas no Apêndice VI.

#### **5.1.2.1. Sistema de Classificação LOCS III**

As representações gráficas, que de seguida se apresentam, são relativas ao estudo da relação da densidade média e máxima, respectivamente, com os graus da catarata do sistema LOCS III.

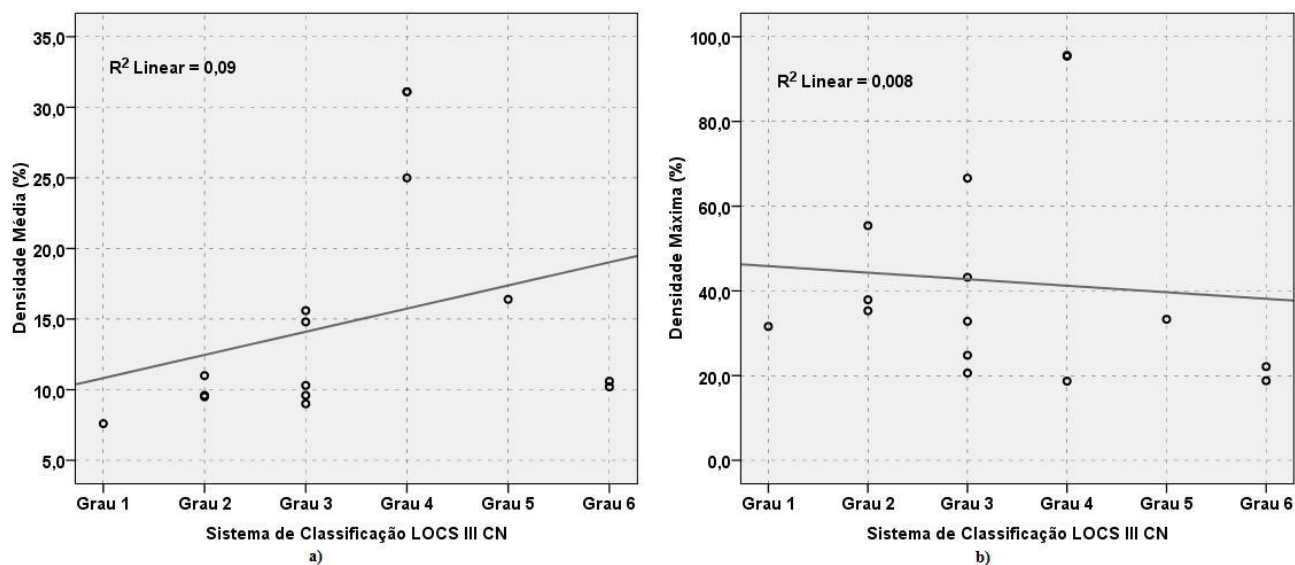


Figura 5.14: Representação gráfica da relação da densidade óptica, medida manualmente, com os graus do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima.

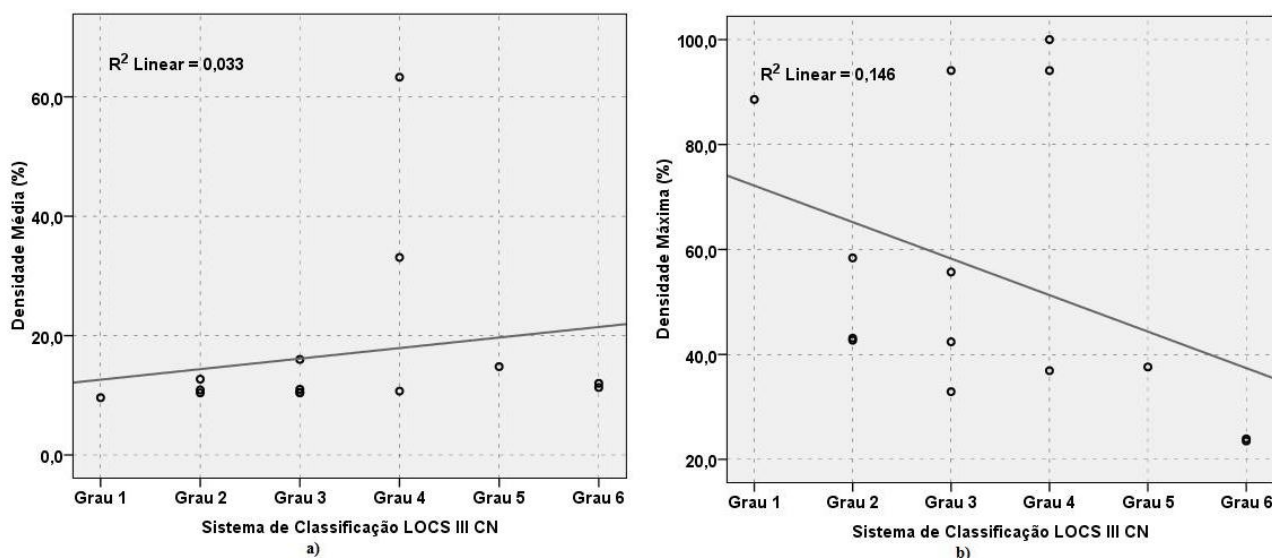


Figura 5.15: Representação gráfica da relação entre a densidade óptica, medida no modo automático, e os graus do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima.

Tal como se tinha verificado para o grupo com pupilas normais, também neste grupo com pupilas dilatadas, os gráficos da Figura 5.14 e da Figura 5.15 não manifestam uma dependência da densidade óptica, seja ela média ou máxima e medida manual ou automaticamente, com os graus CN do sistema LOCS III. Mais uma vez, esta constatação é fundamentada não só na aparência dos gráficos, mas baseada, também, nos valores estatísticos que a Tabela 5.9 e a Tabela 5.10 representam.

Tabela 5.9: Valores estatísticos da densidade óptica média, relativos ao sistema LOCS III no grupo com pupilas dilatadas.

Modo	Densidade Média		
	$R^2$	R	p-valor
Manual	0,09	0,30	0,276
Automático	0,033	0,18	0,534



Tabela 5.10: Valores estatísticos da densidade óptica máxima, para o sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas.

Densidade Máxima			
Modo	R <sup>2</sup>	R	p-valor
Manual	0,008	0,09	0,755
Automático	0,146	0,38	0,178

Face aos valores estatísticos apresentados nas tabelas, anteriormente, aduzidas, comprova-se que a densidade óptica e a cor do núcleo do cristalino não estão linearmente relacionadas, tanto para a densidade média, Tabela 5.9, como para a máxima, Tabela 5.10, nos dois modos de aquisição. Esta constatação baseia-se nos valores do coeficiente de correlação simples (R) que são, aproximadamente, 0, com um valor de p superior aos 0,05 pré-definidos, revelando, deste modo, que a diferença dos valores de densidade óptica entre os graus da catarata não é estatisticamente significativa ( $R \approx 0$ ,  $p > 0,05$ ).

Salienta-se que o gráfico da Figura 5.15b) aparenta existir uma relação linear decrescente entre a densidade óptica máxima e a cor do núcleo do cristalino. Porém, quando analisados os respectivos valores estatísticos, tais indicam que essa relação não ocorre, uma vez que o coeficiente de correlação simples é, aproximadamente, 0, o que indica que as variáveis não estão linearmente relacionadas.

Desta forma, também para este grupo, apesar dos resultados obtidos não estarem em conformidade com a literatura, visto que, segundo esta, a densidade óptica do núcleo do cristalino deverá aumentar linearmente com o aumento do grau CN do LOCS III (26), eles estão em concordância com a prática clínica. Assim, com ou sem uma pupila dilatada, clinicamente não se observa um aumento dos valores de densidade óptica com um tom mais escuro do núcleo do cristalino, pelo que, densidade óptica e cor são duas causas distintas para a formação de uma catarata, estando a densidade óptica associada às modificações nas estruturas das proteínas (1) e a cor ao aumento da concentração de pigmentos de cor, que escurecem o núcleo do cristalino (1). Neste sentido, conclui-se, então, que densidade óptica e cor são métodos de avaliação diferentes, que podem originar diagnósticos distintos, sendo a densidade óptica, medida através do sistema Pentacam, um critério objectivo, enquanto a cor é um critério subjectivo, uma vez que resulta da avaliação e opinião do oftalmologista.

Seguidamente, apresentam-se, em tabelas, os valores de densidade óptica média, Tabela 5.11, e máxima, Tabela 5.12, para cada grau do sistema LOCS III, tanto para o modo manual como para o automático.

Tabela 5.11: Valores de densidade óptica média, medida nos modos manual e automático, para os graus do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas.

Densidade Média (%) $\pm$ DP		
Grau	Valores Manuais	Valores Automáticos
1	8,0 $\pm$ 0,5	10,0 $\pm$ 0,5
2	10,0 $\pm$ 0,8	11 $\pm$ 1
3	12 $\pm$ 3	12 $\pm$ 3
4	29 $\pm$ 4	36 $\pm$ 27
5	17,0 $\pm$ 0,5	15,0 $\pm$ 0,8
6	11,0 $\pm$ 0,3	12,0 $\pm$ 0,5

Tabela 5.12: Valores de densidade óptica máxima, nos modos manual e automático, para os graus do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas.

Densidade Máxima (%) $\pm$ DP		
Grau	Valores Manuais	Valores Automáticos
1	32,0 $\pm$ 0,6	89,0 $\pm$ 0,6
2	43 $\pm$ 11	48 $\pm$ 9
3	38 $\pm$ 19	56 $\pm$ 27
4	70 $\pm$ 30	77 $\pm$ 20
5	33,0 $\pm$ 0,3	37,0 $\pm$ 0,3
6	21 $\pm$ 2	24,0 $\pm$ 0,3

A partir dos dados obtidos, tanto na Tabela 5.11 como na Tabela 5.12, presenciam-se valores de desvios-padrão elevados, nos dois modos para os graus 3 e 4. É observado na Tabela 5.11 que, para o Grau 4, o respectivo desvio-padrão, para o modo automático, é  $\pm 27\%$ . Na Tabela 5.12 verifica-se que este desvio-padrão, para o modo manual, tem como valor  $\pm 30\%$  e para o homólogo no modo automático  $\pm 20\%$ . Ainda na Tabela 5.12 apuram-se, de igual modo, desvios-padrão significativamente elevados para o Grau 3, nos dois modos -  $\pm 19\%$  no modo manual e  $\pm 27\%$  no modo automático. Desta forma, estes valores de desvios-padrão indicam que a dimensão da amostra devia ter sido maior, para que, os respectivos valores de densidade óptica, em cada grau, fossem mais exactos. Esta averiguação é ainda demonstrada pela ausência de casos clínicos no Grau 0. Acrescenta-se ao já exposto que, os resultados obtidos podem ter sido, igualmente, afectados pelo facto de não se terem avaliado as cataratas numa escala decimal e, ainda, devido à não homogeneidade da amostra estudada, que tendo nela integrada não só cataratas nucleares, mas também corticais e subcapsulares, conduziu a uma dificuldade adicional na identificação e delimitação da região do núcleo do cristalino, com o sistema Pentacam.

O gráfico representado pela Figura 5.16, que a seguir se apresenta, ilustra a comparação entre o modo manual e o automático, relativamente ao número de casos clínicos estudados em cada um desses modos.

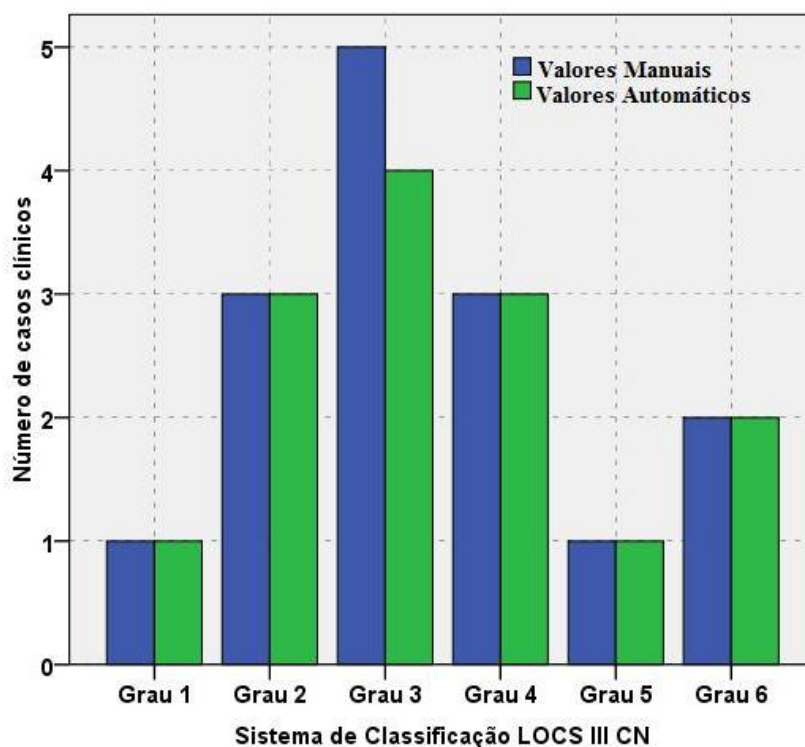


Figura 5.16: Comparação do número de casos clínicos entre os modos manual e automático, para os sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas dilatadas.

A representação gráfica da Figura 5.16 exhibe a distribuição do número de casos clínicos em cada grau do sistema LOCS III, nos dois modos de aquisição de resultados. Esta distribuição é muito semelhante em ambos, excepto para o Grau 3, onde se verifica uma diferença de um caso clínico – 5 casos no modo manual e 4 casos no modo automático. Acresce-se, ainda, à análise que, o Grau 3 contém o maior número de casos clínicos avaliados. Desta forma, também para este grupo, a distribuição dos casos clínicos, pelos graus da catarata do sistema LOCS III, está de acordo com o esperado, visto que, os pacientes são aconselhados a serem submetidos à facoemulsificação, quando no diagnóstico da cor do núcleo do cristalino, este se situa no Grau 3. Esta distribuição foi obtida tanto para o estudo da densidade média como máxima.

A Figura 5.17 e a Figura 5.18 representam a comparação entre os valores adquiridos no modo manual e automático, para a densidade média e máxima, respectivamente.

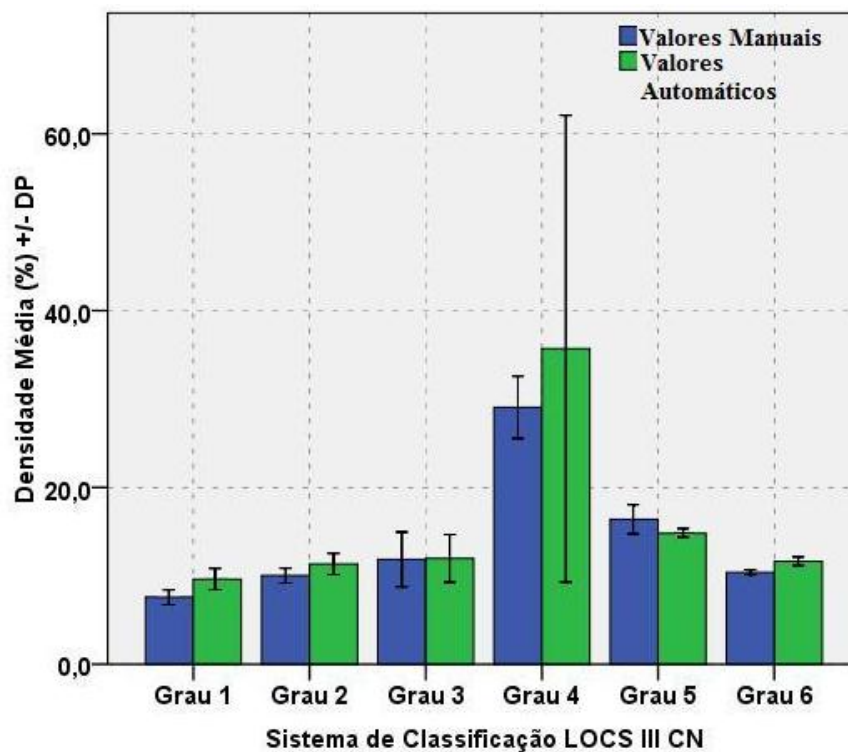


Figura 5.17: Comparação entre os valores de densidade óptica média (%) nos modos manual e automático, para o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas dilatadas.

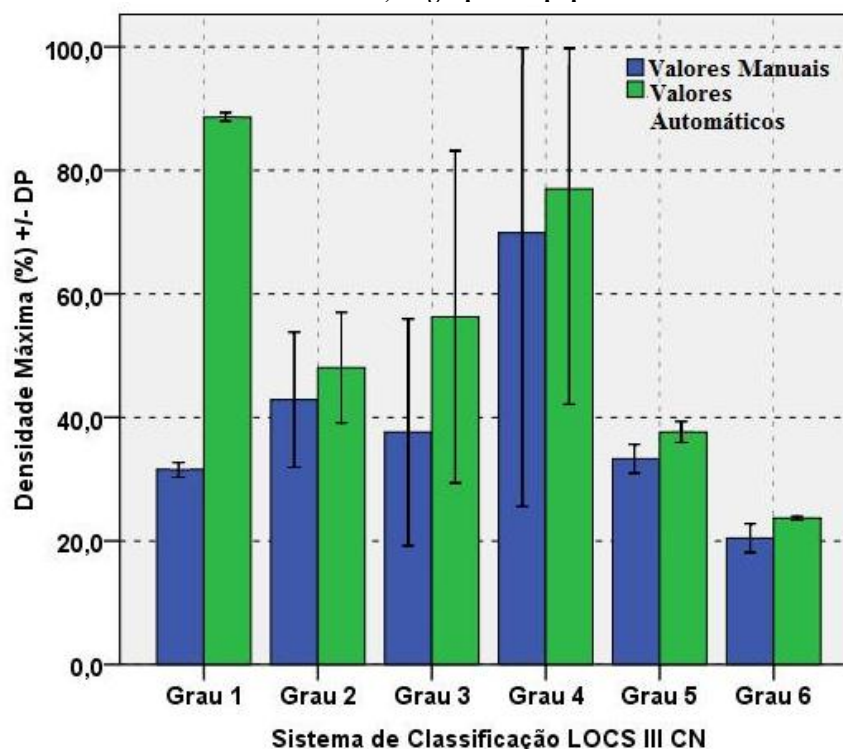


Figura 5.18: Comparação dos valores de densidade óptica máxima (%) adquiridos no modo manual, com os obtidos no modo automáticos, para o sistema LOCS III CN, no grupo com pupilas dilatadas.

Embora o gráfico da Figura 5.17 não exiba diferenças significativas entre o modo manual e o automático, respeitantes às medições da densidade óptica média, tal situação já não sucede na representação gráfica da Figura 5.18, onde as diferenças, nos valores de densidade máxima, entre os modos são, substancialmente, elevadas ( $\approx 18\%$ ). Esta última

representação gráfica realça nitidamente os elevados valores de desvios-padrão existentes em cada grau da catarata, mostrando que, tal facto, pode ter afectado os resultados obtidos. Contudo, as diferenças verificadas podem ter, ainda, derivado de inexactidões, que potencialmente podem ter corrido na delimitação manual da região do núcleo do cristalino. Além disso, os valores manuais resultaram do cálculo matemático da média das densidades ópticas nos 9 cortes seleccionados, enquanto os valores automáticos foram devolvidos, pelo sistema Pentacam, independentemente do corte escolhido.

### 5.1.2.2. Sistema de Classificação PNS

A Figura 5.19 representa os resultados obtidos da densidade média e máxima, adquiridos no modo manual e automático, para o sistema PNS.

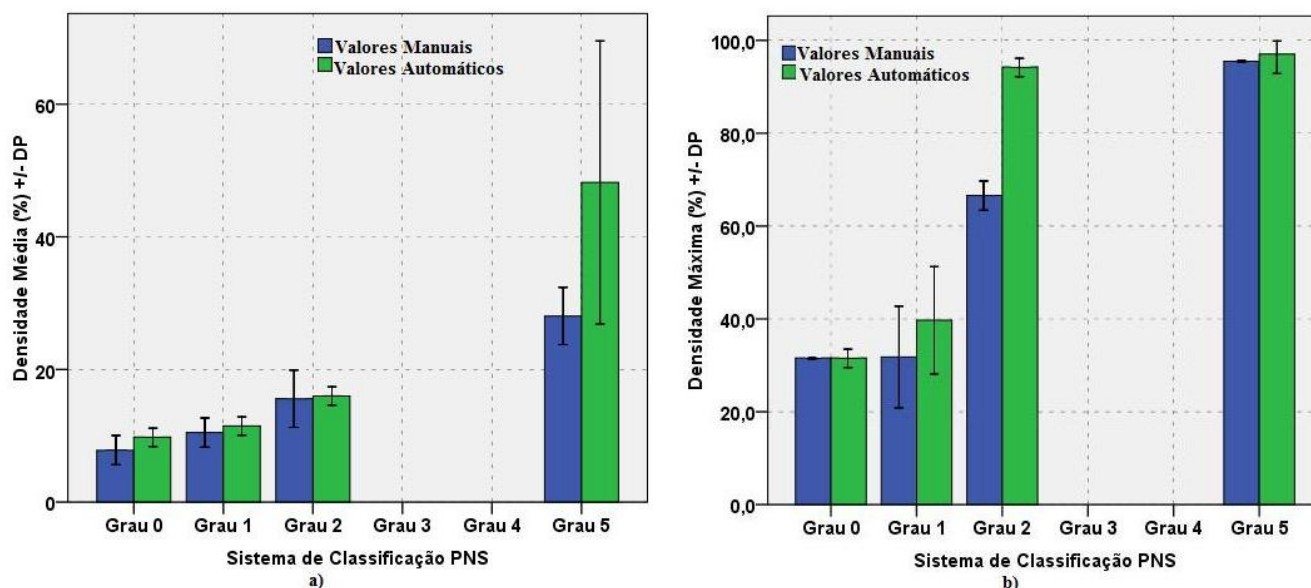


Figura 5.19: Comparação entre os valores de densidade óptica nos modos manual e automático, para o sistema PNS, no grupo com pupilas dilatadas. a) Densidade Média. b) Densidade Máxima.

Face às representações gráficas da Figura 5.19, os resultados obtidos para o sistema de classificação PNS, no grupo com pupilas dilatadas, não foram esclarecedores quanto ao comportamento da densidade óptica com os graus de catarata deste sistema. Acredita-se que esta situação terá ocorrido, devido, uma vez mais, à pequena dimensão da amostra estudada, que para este grupo não contém casos clínicos nos graus 3 e 4. Assim sendo, torna-se difícil extrair ilações relativamente à relação da densidade óptica média e máxima com os graus da catarata. Porém, estes gráficos, até ao Grau 2, expressam um aumento da densidade óptica com o avanço do grau da catarata. Deste modo, até ao grau referenciado, os resultados estão de acordo com as expectativas, uma vez que o sistema PNS classifica as cataratas em graus,

tendo como base o valor de densidade óptica do núcleo do cristalino (27), o que implica que a densidade óptica deva aumentar com o grau da catarata.

### 5.1.3. Comparação entre os Grupos Estudados

De seguida, os resultados obtidos para os dois grupos analisados serão comparados relativamente ao número de casos clínicos e valores de densidades ópticas adquiridas, sejam elas médias ou máximas. Esta comparação será, somente, realizada para o sistema LOCS III, uma vez que, para o sistema PNS, os resultados não foram conclusivos, não possibilitando a análise que, seguidamente, se apresenta.

#### 5.1.3.1. Número de casos clínicos

Com respeito ao número de casos clínicos, a distribuição dos mesmos pelos graus de catarata, para o sistema de classificação LOCS III em cada grupo, encontra-se representada nos gráficos da Figura 5.20.

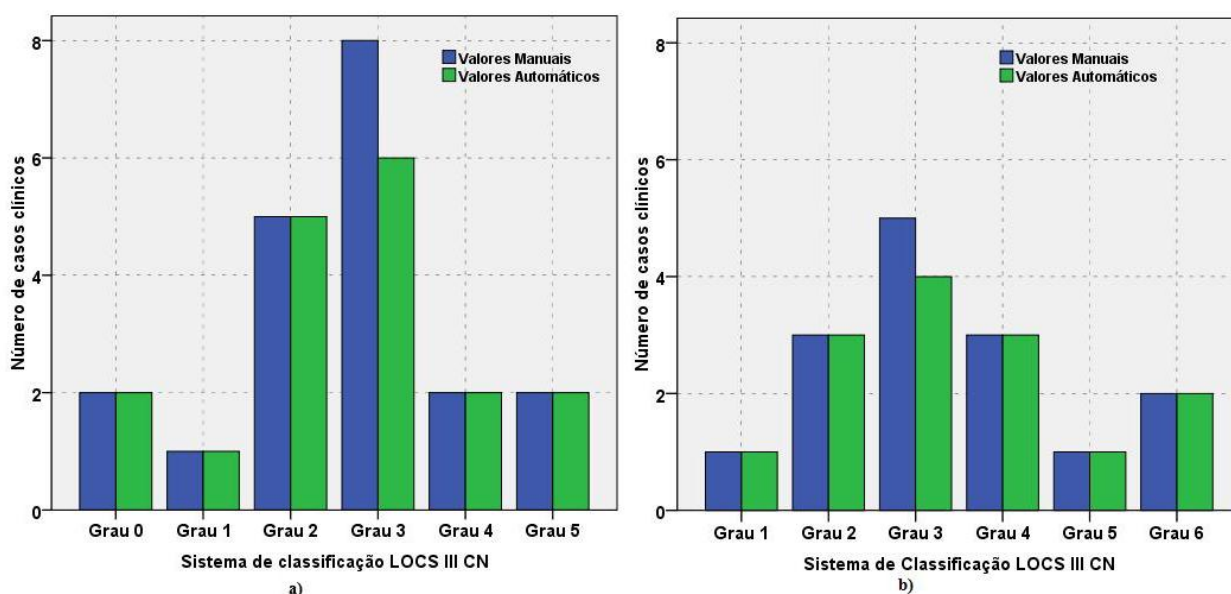


Figura 5.20: Comparação do número de casos clínicos entre o grupo de pupilas normais e o de pupilas dilatadas. a) Grupo de pupilas normais. b) Grupo de pupilas dilatadas.

Comparando as representações gráficas da Figura 5.20, verifica-se que a disposição do número de casos clínicos, pelos graus da catarata do sistema LOCS III, é muito semelhante no grupo de pupilas normais, Figura 5.20a), e no de pupilas dilatadas, Figura 5.20b). A única diferença observada, nestas duas distribuições, pertence ao segundo grau, que integra o maior número de casos clínicos, visto que, para o grupo com pupilas normais, Figura 5.20a), esse grau corresponde ao Grau 2, enquanto para o grupo com pupilas dilatadas, Figura 5.20 b), é respeitante ao Grau 2 e ao Grau 4. Esta diferença deve-se, essencialmente, ao facto de, aquando da pupila dilatada, o cristalino aumenta de tamanho, o que, consequentemente,

proporciona ao oftalmologista avaliar não só a região central do cristalino, mas também a sua periferia. Tal situação favorece um diagnóstico mais preciso do estado de gravidade da catarata e, como resultado, uma melhor distribuição dos casos clínicos em cada grau do sistema de classificação em causa. Assim, estes resultados provam que a avaliação da cor do núcleo do cristalino foi correctamente realizada nos dois grupos estudados.

### 5.1.3.2. Densidade Óptica

Relativamente aos resultados obtidos nos valores de densidades ópticas, em cada grupo, estes são apresentados na Figura 5.21 e na Figura 5.22. A Figura 5.21 representa as densidades médias ao passo que a Figura 5.22 ilustra as densidades máximas.

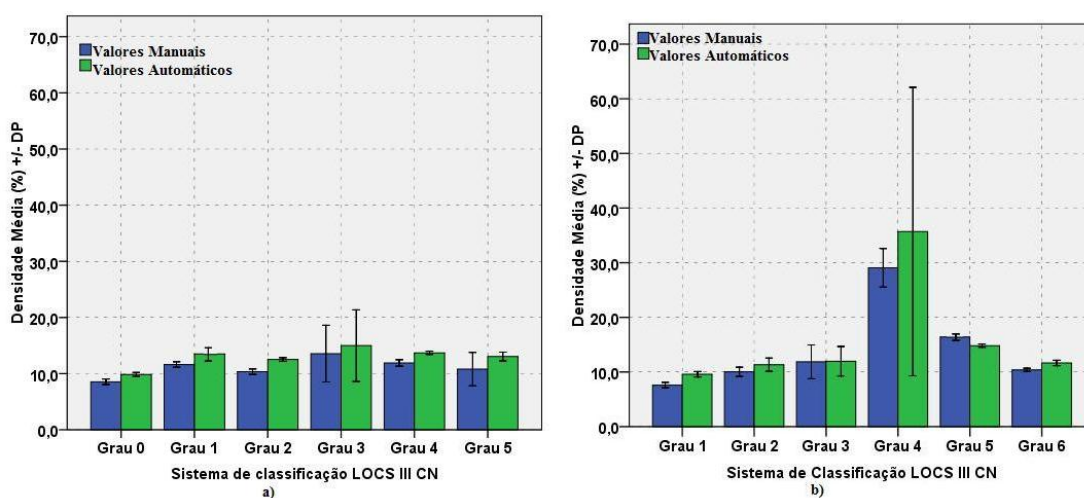


Figura 5.21: Comparação dos valores de densidades médias (%), nos graus de catarata do sistema LOCS III CN, entre o grupo com pupilas normais e o grupo com pupilas dilatadas. a) Grupo de pupilas Normais. b) Grupo com pupilas dilatadas.

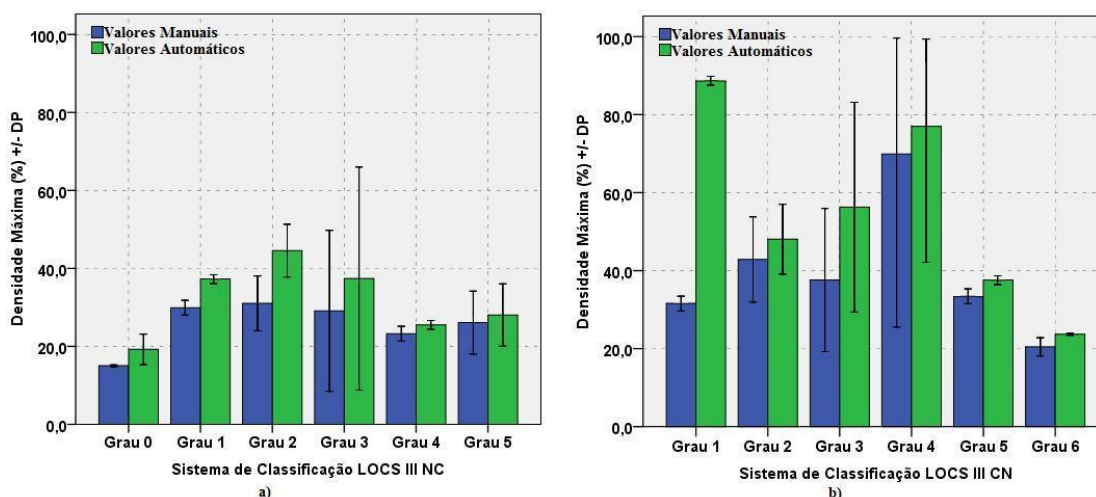


Figura 5.22: Comparação dos valores de densidades máximas (%), nos graus de catarata dos sistema LOCS III CN, entre o grupo com pupilas normais e o grupo com pupilas dilatadas. a) Grupo com pupilas normais. b) Grupo com pupilas dilatadas.

A partir dos gráficos da Figura 5.21 constata-se que as diferenças nos valores de densidade média são muito idênticos em, praticamente, todos os graus da catarata do sistema



LOCS III CN. Contudo, esta situação já não ocorre nas representações gráficas da Figura 5.22, na qual se observa que os valores de densidade máxima, no grupo com pupilas dilatadas, Figura 5.22b), são superiores aos correspondentes no grupo com pupilas normais, Figura 5.22a). Tal facto acontece, pela razão já enunciada, aquando da comparação do número de casos clínicos, ou seja, com uma pupila dilatada o cristalino aumenta de tamanho, pelo que, a área avaliada é maior, facultando uma melhor detecção dos valores máximos de densidade óptica do núcleo do cristalino, através do sistema Pentacam. Pode-se, ainda, presenciar pequenas diferenças entre os valores de densidades ópticas nos modos manual e automático, em ambos os grupos de pacientes. Esta constatação também foi observada para o sistema de classificação PNS. Neste sentido, não estando o novo programa PNS integrado no sistema Pentacam, os resultados obtidos permitem concluir que medir a densidade óptica manualmente, com este sistema de diagnóstico oftalmológico, continua a ser uma boa opção, pois as medições reflectem resultados correctos de diagnóstico, relativamente às densidades ópticas.

## **5.2. Relação da densidade óptica com os parâmetros da Facoemulsificação**

O estudo que de seguida se aduz é referente à relação entre os valores de densidade óptica com os parâmetros da facoemulsificação, ou seja, com o fluxo, vácuo e potência dos ultra-sons.

Importa frisar que, também, para este segundo estudo, os resultados serão apresentados, separadamente, para o grupo com pupilas normais e para o grupo com pupilas dilatadas.

Dado que, para o procedimento da facoemulsificação, as cataratas são classificadas numa escala de 1 a 5, e visto que para o sistema PNS as cataratas avaliadas não abrangeram todos os graus, a análise realizada neste segundo estudo é exclusiva para o sistema LOCS III. Deste modo, as cataratas classificadas no Grau 6, do sistema LOCS III, serão consideradas como cataratas do Grau 5 para o procedimento da facoemulsificação. Este mesmo estudo é efectuado tanto para o modo manual como para o automático. Além disto, em virtude da densidade máxima estar mais relacionada com a potência dos ultra-sons (15), que, segundo o protocolo do cirurgião, não varia com os graus da catarata, o estudo, que, seguidamente, se apresenta, é referente, apenas, à densidade média.



### 5.2.1. Parâmetros da Facoemulsificação

O procedimento da facoemulsificação está dividido em três fases: o esculpir, a sucção e a emulsificação. A fase de sucção está associada ao controlo dos parâmetros de fluxo e vácuo, enquanto a emulsificação está relacionada com a potência dos ultra-sons.

Os parâmetros, fluxo, vácuo e potência de ultra-sons, são controlados através de um pedal, o qual possui quatro posições – 0, 1, 2 e 3 – com três intervalos de movimentação vertical activos. Deste modo, a posição do pedal determina a função a ser aplicada, pelo que, na posição 1 é activado o fluxo, na posição 2 o vácuo e na posição 3 a potência dos ultra-sons. Quando o pedal se encontra na posição 0, o sistema está desactivado. Neste trabalho, os parâmetros da FACO foram programados no modo Linear, de forma que os seus valores aumentam, linearmente, desde um determinado valor mínimo (0 para o fluxo e vácuo e 10% para a potência) até ao máximo pré-definido pelo cirurgião.

#### 5.2.1.1. Fluxo

O fluxo (cc/min) define-se como o volume de fluído (cc) circulante na câmara anterior do olho, por unidade de tempo (min). Este fluído de irrigação entra na câmara anterior do olho através de um tubo de irrigação. Porém, devido ao efeito de aspiração, provocado pelo vácuo, e às incisões realizadas na córnea, os fluidos que circulam na câmara tendem a sair desta. A Figura 5.23 representa, esquematicamente, o mecanismo do fluxo na facoemulsificação.

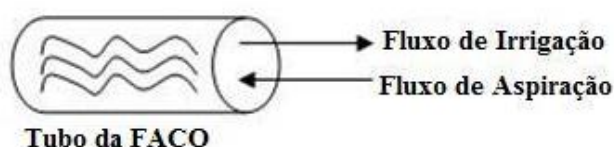


Figura 5.23: Representação do mecanismo do fluxo no tubo da FACO com fluidos.

Este parâmetro influencia na pressão intra-ocular, pelo que deve estar em total concordância com o valor de vácuo, para manter a estabilidade na pressão intra-ocular e, assim, evitar o colapso da câmara anterior do olho (1; 11).

Os valores usados no fluxo, neste trabalho, estão representados na Figura 5.24 e derivam do protocolo do cirurgião.

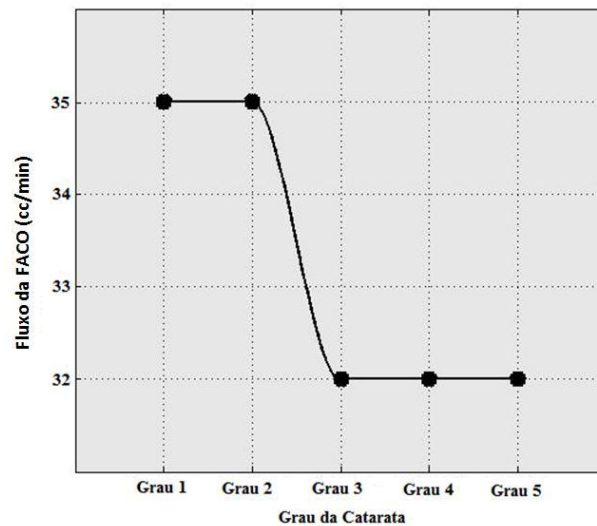


Figura 5.24: Representação gráfica dos valores do fluxo (cc/min) em cada grau da catarata.

### 5.2.1.2. Vácuo

O vácuo é, por definição, a pressão negativa, medida em mmHg, exercida na ponta do tubo da facoemulsificação. Este parâmetro tem como função atrair os fragmentos nucleares e segurá-los na ponta do tubo da FACO (1; 11). A Figura 5.25 esquematiza o mecanismo deste parâmetro, e os respectivos valores utilizados, neste estudo, estão ilustrados na Figura 5.26.

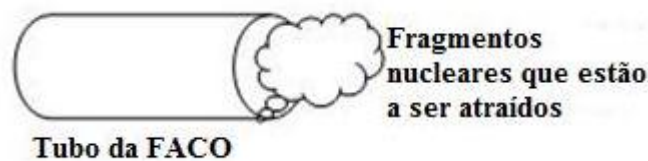


Figura 5.25: Representação do mecanismo do vácuo no procedimento da FACO.

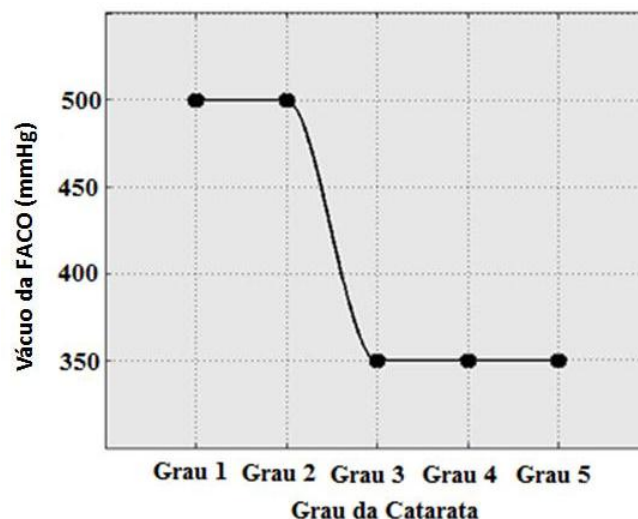


Figura 5.26: Representação gráfica dos valores do vácuo (mmHg), em cada grau da catarata.

Observando a Figura 5.24 e a Figura 5.26, que correspondem, respectivamente, às representações gráficas dos valores de fluxo e de vácuo em cada grau da catarata, constata-se que existem dois regimes separados por uma região de transição. Desta forma, verifica-se que

existe um primeiro regime relativamente aos graus 1 e 2, nos quais os valores máximos de fluxo e vácuo são 35cc/min e 500mmHg, respectivamente, e um segundo regime respeitante aos graus 3, 4 e 5, onde são usados um valor máximo de 32cc/min para o fluxo e 350mmHg para o vácuo. Deste modo, estes resultados mostram que o fluxo e o vácuo exibem comportamentos semelhantes, atendendo a que, uma diminuição dos valores de fluxo implica um decréscimo nos valores de vácuo. Este comportamento é fundamental para a facoemulsificação, uma vez que este procedimento cirúrgico ocorre em condições dinâmicas, ou seja, durante a cirurgia, há entrada de fluidos para a câmara anterior do olho, através do fluxo, mas há, também, perda de fluidos, desta região ocular, através do processo de sucção, provocado pelo vácuo. Neste sentido, o fluxo e o vácuo têm de estar em total concordância um com o outro, ou seja, se um diminui o outro, obrigatoriamente, tem de diminuir, ou vice-versa, isto, para a manter a estabilidade na pressão intra-ocular, evitando, assim, o colapso da câmara anterior do olho.

#### 5.2.1.3. Potência de ultra-sons

A emulsificação corresponde à aplicação dos ultra-sons na ponta do tubo da facoemulsificação, a fim de fragmentar as fracções nucleares que são atraídas, possibilitando-lhes a passagem pelo tubo da facoemulsificação (1; 11). O mecanismo deste processo está representado na Figura 5.27.



Figura 5.27: Representação do mecanismo da emulsificação no procedimento da FACO.

Neste trabalho, os valores da potência da FACO foram os mesmos para todos os graus da catarata, aumentando desde um valor mínimo de 10% até a um valor máximo de 30%. Os correspondentes valores em unidades de Watts são mostrados no Anexo I.

Embora se tenha assistido à conformidade do comportamento do fluxo com o vácuo, os resultados obtidos mostram que os valores destes dois parâmetros são superiores em cataratas moles (Grau 1 e Grau 2), comparativamente aos homólogos em cataratas duras (Grau 3, Grau 4 e Grau 5). Tal facto não é coerente com a literatura (1; 12), visto que, segundo esta, cataratas moles (catarratas de densidade óptica baixa) necessitam de menos vácuo, para atrair os seus fragmentos nucleares até à ponta da sonda FACO, do que cataratas mais duras (catarratas de densidade óptica elevada). A mesma situação sucede para os valores

da potência da FACO, uma vez que, segundo a literatura (15; 27), a potência dos ultra-sons deve aumentar com o aumento do grau da catarata, enquanto, neste trabalho, o intervalo de valores da potência dos ultra-sons não varia com os graus da catarata. Porém, é igualmente conhecido que um aumento da potência dos ultra-sons resulta num acréscimo da dissipação da energia mecânica e acústica, no interior da câmara anterior do olho. Assim, este excesso de energia pode causar um aumento da temperatura no interior da câmara, provocando a perda das células endoteliais da córnea (13).

Como consequência destas complicações, nos últimos anos tem havido a preocupação de encontrar soluções, que visem a diminuição da aplicação dos ultra-sons, sendo a utilização, mais frequente, do fluxo e do vácuo uma potencial via de resolução do problema. Neste sentido, os resultados obtidos, neste estudo, vão ao encontro da evolução da técnica da facoemulsificação, isto porque, cataratas moles, Grau 1 e Grau 2, devido à sua característica física (suavidade), passam facilmente através do tubo da FACO, sem que seja necessário recorrer aos ultra-sons para as emulsionar. Desta forma, para este tipo de núcleos, os valores de vácuo são elevados e, consequentemente os valores de fluxo também, para permitir que as cataratas sejam aspiradas conjuntamente com os restantes fluidos. Contudo, tal situação já não ocorre em cataratas duras, graus 3, 4 e 5, uma vez que, estas cataratas, para passarem pelo tubo da FACO, necessitam de serem emulsionadas, ou seja, é obrigatório recorrer aos ultra-sons. Deste modo, nestes núcleos, os valores de vácuo vão diminuir e, de igual forma os de fluxo, visto que, este parâmetro será, apenas, aplicado para atrair os fragmentos nucleares.

Ainda que exista um paradoxo dos resultados ilustrados na Figura 5.24, Figura 5.26 e no protocolo usado para os valores da potência dos ultra-sons com o reportado na literatura, os resultados demonstram que é possível minimizar a aplicação dos ultra-sons durante a cirurgia, e, assim, evitar danificar as estruturas delicadas do globo ocular. Todavia, é importante realçar que a utilização de valores elevados de vácuo está dependente da experiência do cirurgião e da técnica usada durante a cirurgia. A experiência do cirurgião é de facto muito importante, uma vez que, valores elevados de vácuo podem atrair a íris e a cápsula anterior e posterior do cristalino até à ponta do tubo da FACO (1; 11; 12), pelo que os valores de vácuo devem ser, devidamente, controlados.

Tal como já se tinha verificado, anteriormente, a partir das representações gráficas da Figura 5.24 e da Figura 5.26, não é feita uma distinção entre os valores de fluxo e de vácuo aplicados no Grau 1 e no Grau 2, e nos graus 3, 4 e 5. A pequena amostragem de valores relativos aos parâmetros da FACO advém do protocolo seguido pelo cirurgião, que usa, respectivamente, 35cc/min e 500mmHg para o valor máximo de fluxo e vácuo nos graus 1 e

2, e 32cc/min para o fluxo e 350mmHg para o vácuo, quando as cataratas correspondem aos graus 3, 4 e 5. Desta forma, a partir deste protocolo não foi possível obter mais valores para cada grau da catarata e, conseqüentemente, realizar uma análise sobre qual o tipo de relação entre as variáveis, ou seja, se ela é linear, exponencial ou outra. Acrescenta-se, ainda, que tanto os valores iniciais como finais da FACO, usados neste trabalho, podem variar de grau para grau, dependendo do procedimento do cirurgião. Por exemplo, neste estudo, utilizou-se um fluxo e um vácuo mínimo de 0; contudo, com outro protocolo, estes valores iniciais poderiam ser 25cc/min e 250mmHg, com o intuito de, no início da cirurgia, as fracções nucleares já se encontrarem na ponta do tubo da FACO para serem fragmentadas. Pretende-se mostrar, com o exemplo dado, que os resultados, que de seguida se aduzem, estão seriamente dependentes do protocolo do cirurgião, pelo que eles poderão ser diferentes, se aplicado outro protocolo.

Como foi já referido, os valores de fluxo e vácuo utilizados nos graus 1 e 2 são os mesmos. Tal situação, também, sucede para os graus 3, 4 e 5. Face a esta ocorrência, e com o objectivo de estudar o comportamento da densidade óptica com os parâmetros da FACO, agruparam-se os graus, onde os valores de fluxo e vácuo não são diferenciados, resultando em dois conjuntos, designados como  $A_{G1-2}$  e  $A_{G3-4-5}$ . O conjunto  $A_{G1-2}$  corresponde ao agrupamento (A) que contém os graus (G) 1 e 2, com os respectivos valores máximos de fluxo e de vácuo (35cc/min para o fluxo e 500mmHg para o vácuo). Em relação ao conjunto  $A_{G3-4-5}$ , este integra os graus (G) 3, 4 e 5, com valores máximos de fluxo e vácuo de 32cc/min e 350mmHg, respectivamente. A Tabela 5.13 exhibe os valores máximos de fluxo e de vácuo para cada agrupamento.

Tabela 5.13: Valores de fluxo e vácuo em cada agrupamento.		
Agrupamento (A)	Fluxo (cc/min)	Vácuo (mmHg)
$A_{G1-2}$	35	500
$A_{G3-4-5}$	32	350

A análise, que seguidamente se apresenta, relaciona, para cada agrupamento definido, a densidade óptica média com os valores de fluxo e de vácuo, para os dois grupos de pacientes, e para os modos manual e automático.

### 5.2.2. Grupo com Pupilas Normais

O gráfico ilustrado na Figura 5.28 representa o comportamento da densidade óptica média, tanto no modo manual como no automático, com os dois conjuntos relativos aos parâmetros da facoemulsificação.

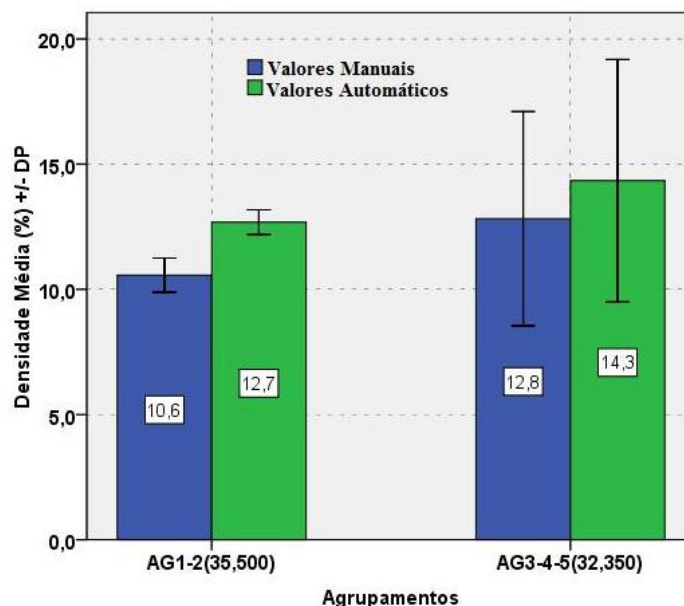


Figura 5.28: Representação gráfica do comportamento da densidade óptica média (%), adquirida nos modos manual e automático, com os dois conjuntos que integram os respectivos valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas normais.

A partir da representação gráfica da Figura 5.28 é possível aferir que a densidade média, para o modo manual, aumenta, aproximadamente, de 11%, no  $A_{G1-2}$ , para 13%, no  $A_{G3-4-5}$ , e para o modo automático desde, sensivelmente, 13% até 14%. Face a estes valores, constata-se que a densidade óptica média nos dois agrupamentos é, praticamente, a mesma, ou seja, não se verifica o aumento dos valores da densidade média com a diminuição dos valores de fluxo e vácuo, como seria de esperar. Tal circunstância advém do facto de os valores de densidades ópticas médias, referentes ao sistema de classificação LOCS III no grupo de pupilas normais, serem muito semelhantes em todos os graus da catarata, tal como é mostrado na Tabela 5.14.

Tabela 5.14: Valores de densidade média (%) em cada grau da catarata do sistema LOCS III e correspondente agrupamento e valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas normais.

Agrupamento	Grau	Densidade Média $\pm$ DP		Fluxo (cc/min)	Vácuo (mmHg)
		Manual	Automático		
$A_{G1-2}$	1	12,0 $\pm$ 0,5	14,0 $\pm$ 0,4	35	500
	2	11,0 $\pm$ 0,5	13,0 $\pm$ 0,3		
$A_{G3-4-5}$	3	14 $\pm$ 5	15 $\pm$ 6	32	350
	4	12,0 $\pm$ 0,6	14,0 $\pm$ 0,3		
	5	11 $\pm$ 3	13,0 $\pm$ 0,8		

Desta forma, a similaridade encontrada nos valores de densidade óptica média, em cada grau da catarata do sistema LOCS III, não possibilita, assim, observar o aumento da densidade óptica com a diminuição dos parâmetros em estudo da facoemulsificação. Deste modo, uma vez mais, os resultados realçam que densidade óptica e cor são vias diferentes para a formação de uma catarata, e que, para o procedimento da facoemulsificação, a avaliação da cor do núcleo do cristalino poderá não ser o método de diagnóstico mais adequado, uma vez que, esta cirurgia depende fortemente da densidade óptica do núcleo e não do tom de cor do mesmo (15; 14).

### 5.2.3. Grupo com Pupilas Dilatadas

De seguida, apresentam-se, na Figura 5.29, os resultados obtidos sobre o comportamento da densidade óptica com os parâmetros da FACO, para o grupo com as pupilas dilatadas.

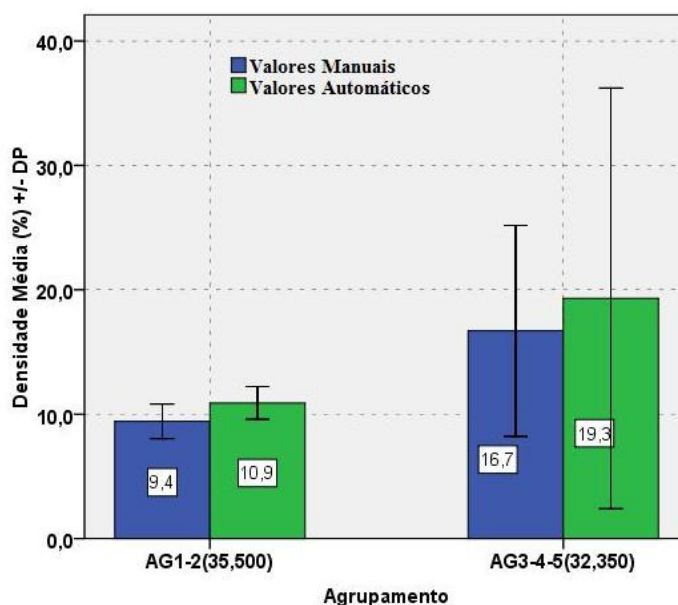


Figura 5.29: Representação gráfica do comportamento da densidade óptica média (%), nos modos manual e automático, com os agrupamentos relativos aos valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas dilatadas.

A representação gráfica da Figura 5.29 demonstra que os valores de densidade óptica média, tanto para o modo manual como para o automático, aumentam, sensivelmente, 9% do AG<sub>1-2</sub> para o AG<sub>3-4-5</sub>, ou seja, existe um crescimento de 9% nos valores de densidade óptica média, quando os valores de fluxo e de vácuo são diminuídos para os graus de cataratas consideradas como duras. Este comportamento pode ser, igualmente, observado pela Tabela 5.15.

Tabela 5.15: Valores de densidade óptica média (%) em cada agrupamento com os respectivos valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas dilatadas.

Agrupamento	Fluxo (cc/min)	Vácuo (mmHg)	Densidade Média (%) $\pm$ DP	
			Manual	Automático
A <sub>G1-2</sub>	35	500	9 $\pm$ 2	11 $\pm$ 2
A <sub>G3-4-5</sub>	32	350	17 $\pm$ 9	19 $\pm$ 17

Uma vez que se verificou um aumento da densidade óptica com a diminuição dos parâmetros da FACO, então, os resultados estão em conformidade com as expectativas, visto que, seria de esperar que os valores da densidade óptica aumentassem com a redução dos valores de fluxo e de vácuo. Efectivamente, e como já foi referido, cataratas moles (baixa densidade) necessitam de valores elevados de vácuo para serem extraídas juntamente com os restantes fluidos, sem recurso aos ultra-sons, enquanto, para cataratas duras (elevada densidade), os valores de vácuo são diminuídos, dado que este parâmetro é usado apenas para atrair os fragmentos nucleares até à ponta do tubo da FACO, para aí serem emulsionados com os ultra-sons, de forma a serem extraídos.

Neste grupo de pacientes foi possível presenciar o comportamento esperado da densidade óptica com os valores de fluxo e de vácuo, pois, embora não se tenha averiguado uma relação entre a densidade óptica e os graus CN do sistema LOCS III, verifica-se que os valores de densidade óptica média nos graus 1 e 2 são inferiores aos correspondentes nos graus 3, 4 e 5, como ilustrado na Tabela 5.16.

Tabela 5.16: Valores de densidade média (%) em cada grau da catarata do sistema LOCS III e correspondente agrupamento e valores de fluxo e vácuo, no grupo com pupilas dilatadas.

Agrupamento	Grau	Densidade Média $\pm$ DP		Fluxo (cc/min)	Vácuo (mmHg)
		Manual	Automático		
A <sub>G1-2</sub>	1	8,0 $\pm$ 0,5	10,0 $\pm$ 0,5	35	500
	2	10,0 $\pm$ 0,8	11 $\pm$ 1		
A <sub>G3-4-5</sub>	3	12 $\pm$ 3	12 $\pm$ 3	32	350
	4	29 $\pm$ 4	36 $\pm$ 27		
	5	17,0 $\pm$ 0,5	15,0 $\pm$ 0,8		
	6	11,0 $\pm$ 0,3	12,0 $\pm$ 0,5		

Assim, esta diferença, entre os valores de densidade óptica, nos graus referidos, faculta, nesta segunda análise, a observação do aumento da densidade com a diminuição dos valores dos parâmetros da FACO em causa.

#### 5.2.4. Comparação entre os Grupos Estudados

A Figura 5.30 apresenta a comparação entre os resultados obtidos nos dois grupos estudados, tanto para o modo manual como para o automático.



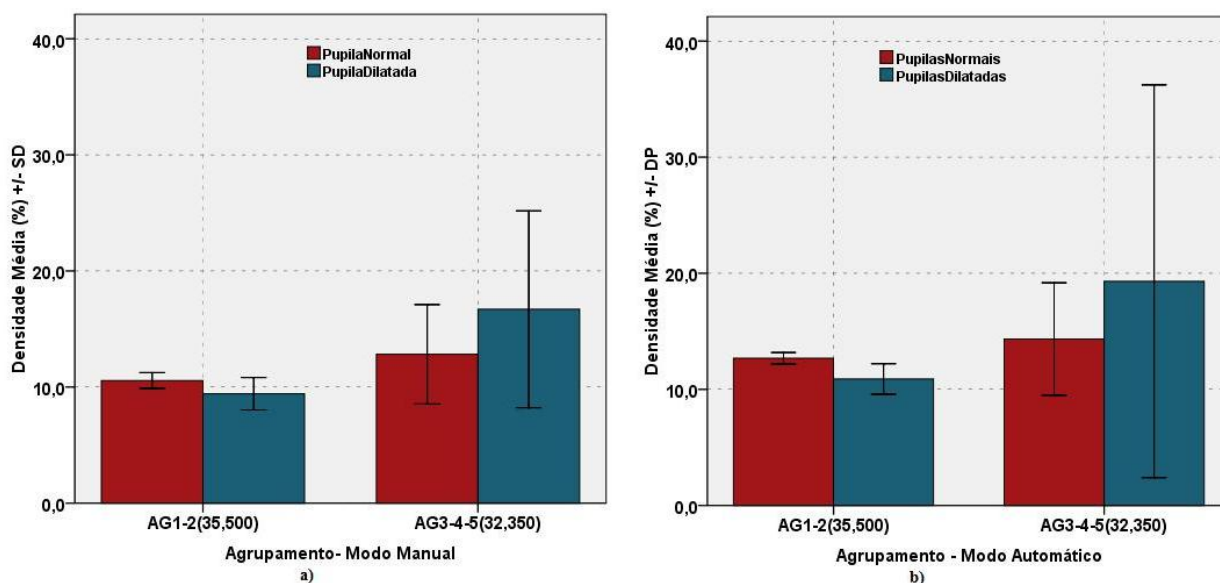


Figura 5.30: Comparação dos resultados obtidos entre os dois grupos de pacientes, tanto para os modos manual como automático. a) Grupo com pupilas normais. b) Grupo com pupilas dilatadas.

Comparando os resultados, ilustrados na Figura 5.30, observam-se comportamentos distintos para a densidade óptica com os parâmetros da FACO entre os dois grupos de pacientes. No grupo de pupilas normais (a cor vermelha na Figura 5.30), e tal como já tinha sido referido na análise individual deste grupo, a densidade óptica é, praticamente, constante com a variação dos valores de fluxo e de vácuo. Porém, tal situação já não ocorre no grupo com pupilas dilatadas (a cor azul na Figura 5.30), onde se verifica um aumento da densidade óptica, aquando da diminuição dos valores de fluxo e de vácuo. Esta diferença de comportamentos na densidade óptica deve-se ao facto de, com uma pupila dilatada, o cristalino aumentar de tamanho, proporcionando uma área de avaliação maior no diagnóstico, visto que esta corresponde não só à região central do cristalino como também à sua periferia. Assim, esta condição do cristalino nas pupilas dilatadas favorece um diagnóstico mais preciso do estado de severidade da catarata e, consequentemente, um planeamento adequado dos valores de fluxo e de vácuo a cada caso clínico.

Em suma, quando é efectuado o diagnóstico do grau da catarata, para a facoemulsificação, é de grande relevância que as pupilas estejam dilatadas, de forma a realizar-se um planeamento pré-cirúrgico personalizado a cada paciente, e assim evitar os problemas associados à cirurgia da catarata.



### *Conclusão*

---

#### **6.1. Conclusões Finais**

A facoemulsificação é a mais recente técnica usada para a extracção das cataratas. Contudo, o sucesso deste procedimento cirúrgico depende fortemente da optimização de três parâmetros: fluxo, vácuo e potência de ultra-sons. Por sua vez, sendo o núcleo do cristalino a região anatómica mais importante para a FACO, o fluxo, vácuo e potência dos ultra-sons devem estar adequados a cada caso clínico, com o intuito de personalizar a FACO. Para tal, é de elevada relevância que as cataratas sejam classificadas *a priori* em graus, a fim de tornar a programação dos parâmetros da facoemulsificação mais correcta e adequada ao grau da patologia em causa.

No seguimento deste objectivo, neste estudo clínico as cataratas foram avaliadas segundo dois sistemas de classificação: o LOCS III e o PNS. O primeiro, classificando as cataratas com base no tom de cor do núcleo do cristalino, revelou ser um método mais subjectivo de avaliação, enquanto o sistema PNS demonstrou ser um método de diagnóstico mais objectivo, porque caracteriza as cataratas em graus mediante o valor de densidade óptica do núcleo do cristalino. Relativamente à análise da densidade óptica com os graus do sistema LOCS III, não foi averiguada qualquer tipo de relação entre as variáveis em estudo, pelo que, um tom mais escuro do núcleo do cristalino não implica uma densidade óptica mais elevada. Já para o sistema PNS verificou-se um crescimento linear dos valores de densidade óptica com os graus da catarata, demonstrando que este método de avaliação poderá ser o mais indicado para o procedimento da facoemulsificação, visto que os parâmetros deste procedimento dependem da densidade óptica do cristalino.

Relativamente, aos resultados obtidos para a análise do comportamento da densidade óptica com os parâmetros da facoemulsificação, constatou-se que, para valores de densidade

óptica elevados, os valores de fluxo e de vácuo são inferiores. Embora estes resultados não estejam em conformidade com a literatura, a qual prevê que cataratas de densidade óptica baixa necessitem de valores de vácuo inferiores aos de cataratas de densidade óptica elevada, eles estão em concordância com a evolução da técnica da facoemulsificação. Efectivamente, os recentes avanços na técnica da FACO são na direcção de minimizar a aplicação dos ultra-sons, no sentido de diminuir a energia dissipada no globo ocular, sendo que este objectivo pode ser alcançado utilizando o vácuo como um possível meio para extrair cataratas, particularmente as de baixa densidade óptica. Tal facto foi demonstrado neste estudo clínico, no qual se verificou que cataratas moles podem ser extraídas utilizando, unicamente, o vácuo, visto que, a característica dos seus núcleos (mole) permite que estes passem pelo tubo da FACO, sem que seja necessário recorrer à aplicação dos ultra-sons para os emulsionar. Deste modo, para este tipo de núcleos, os valores de vácuo são elevados, para que as cataratas sejam atraídas, mas também extraídas com os restantes fluidos. No entanto, observou-se que para cataratas duras tal situação já não ocorre, uma vez que os núcleos destas cataratas, para serem extraídos, necessitam de serem emulsionados com os ultra-sons. Assim, os valores de vácuo, neste tipo de cataratas, vão ser diminuídos, porque este parâmetro será usado, apenas, para atrair os fragmentos nucleares até à ponta do tubo da FACO.

Ainda respeitante aos resultados obtidos para a facoemulsificação, estes ilustraram, igualmente, que os valores de fluxo e de vácuo devem estar em concordância, de forma a manter a estabilidade na pressão intra-ocular, evitando-se o colapso da câmara anterior do olho. Além disso, foi, também, verificado que, no diagnóstico do grau da catarata, as pupilas devem estar dilatadas, por esta condição favorecer uma melhor avaliação do estado de severidade do cristalino e, consequentemente, uma programação mais adequada dos valores de fluxo e de vácuo a ser aplicados em cada caso clínico.

Assim, conclui-se que um exacto diagnóstico do grau da catarata proporciona um planeamento pré-cirúrgico adaptado a cada paciente e, por conseguinte, uma diminuição dos riscos associados à facoemulsificação.

Desta forma, o uso do sistema Pentacam possibilita a medição das densidades ópticas do núcleo do cristalino, as quais são essenciais para a personalização do procedimento da facoemulsificação. Através dos resultados obtidos, estas mesmas medições conduziram, também, à constatação de que é possível reduzir ou até mesmo excluir a aplicação dos ultra-sons aumentando os valores de vácuo, particularmente em cataratas de baixa densidade óptica. Assim, estes resultados mostraram que a facoemulsificação depende dos ultra-sons, mas que o fluxo e o vácuo desempenham, igualmente, funções de grande relevância no

procedimento cirúrgico, nomeadamente na minimização da aplicação dos ultra-sons. Neste sentido, o sistema Pentacam revelou ser, também, uma ferramenta útil de diagnóstico oftalmológico, mais especificamente em cataratas, devendo ser utilizado como auxílio na realização de um planeamento pré-cirúrgico da catarata, que minimize os danos em estruturas delicadas do globo ocular, durante a facoemulsificação.

## **6.2. Melhoramentos e Estudos Futuros**

### **6.2.1. Melhoramentos**

Para melhorar os resultados obtidos neste estudo clínico, a dimensão da amostra deve ser aumentada, com a finalidade de dar consistência às conclusões extraídas no trabalho. De facto, o número de casos clínicos avaliados revelou ser pequeno, uma vez que, em certas análises ao longo deste trabalho, a pequena dimensão da amostra comprometeu as conclusões finais. Além do número de casos clínicos, a pequena amostragem de valores relativos aos parâmetros de fluxo, vácuo e potência dos ultra-sons, para cada grau da catarata, mostrou ser, também, uma condicionante neste trabalho, visto que, não possibilitou concluir qual o tipo de relação entre a densidade óptica e os parâmetros da FACO. Face a estas circunstâncias, será, deste modo, importante aumentar não só o número de casos clínicos avaliados, mas também diversificar os valores dos parâmetros da FACO para cada grau da catarata, no sentido de se obterem conclusões finais mais fundamentadas. Deve ser também estudado o comportamento dos graus de catarata do sistema PNS com os parâmetros da facoemulsificação.

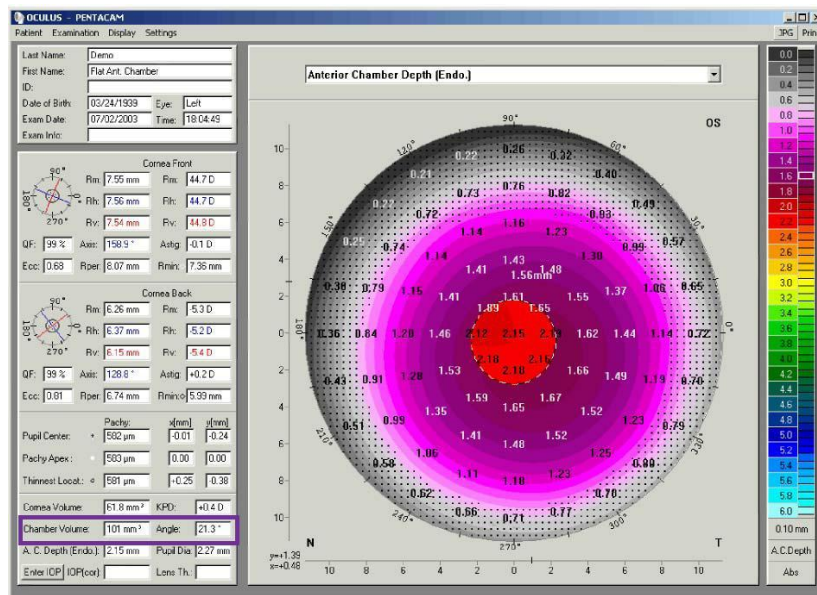
### **6.2.2. Estudos Futuros**

A literatura (15) refere, ainda, que o tempo da facoemulsificação, ou seja, o tempo efectivo da aplicação dos ultra-sons, é também um importante parâmetro, pelo que, será, igualmente, importante estudá-lo em função dos valores da densidade óptica do núcleo do cristalino. Além deste parâmetro e, uma vez que o novo programa PNS devolve, também, o valor do volume da catarata, será importante estudar o comportamento desta variável com os parâmetros da facoemulsificação.

Além dos problemas, já enunciados durante o trabalho, relativamente à facoemulsificação, existem outros, mas no pós-cirúrgico: modificações na profundidade da câmara anterior do olho, devido às alterações ocorrentes na pressão intra-ocular durante a cirurgia; variações na espessura da córnea, resultantes da perda das células endoteliais; e, ainda, o aparecimento de aberrações ópticas, particularmente astigmatismo, consequência da

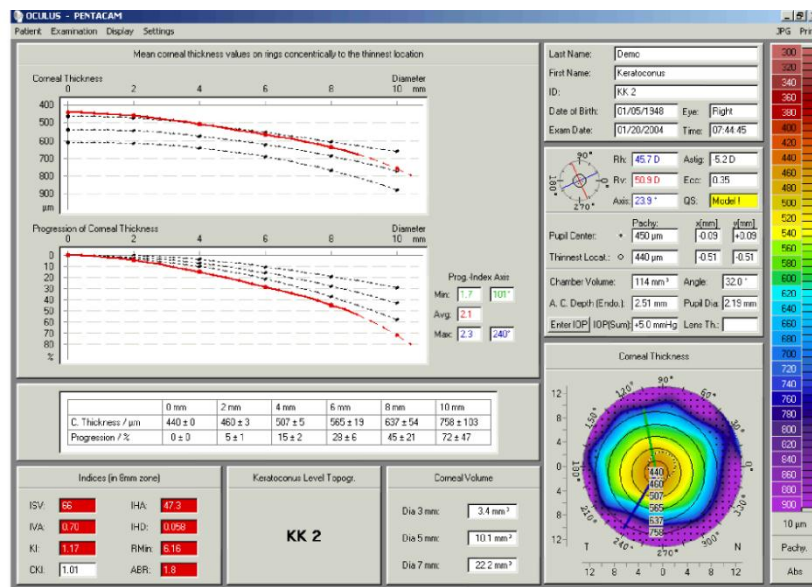
cicatrização das incisões realizadas na córnea. Assim, será, igualmente, importante estudar a influência dos parâmetros da FACO com os problemas referidos, de forma a minimizá-los. Estes problemas podem ser analisados através do sistema Pentacam.

A profundidade da câmara anterior do olho pode ser estudada com o sistema Pentacam, o qual devolve os valores deste parâmetro, ao longo de vários anéis concêntricos, através de um mapa colorido, exemplificado pela Figura 6.1.



**Figura 6.1:** Mapa colorido referente à profundidade da câmara anterior do olho, devolvido pelo sistema Pentacam. No lado esquerdo são mostrados os dados gerais topométricos do paciente e no centro o mapa colorido com os valores da profundidade da câmara anterior do olho, em mm, nas várias zonas da córnea.

A espessura da córnea pode ser estudada, pelo sistema Pentacam, através do módulo de paquimetria, exemplificado na Figura 6.2:



**Figura 6.2: Módulo de Paquimetria do sistema Pentacam. No lado direito, os dados topométricos gerais do paciente e mapa colorido relativo à espessura da córnea. Do lado esquerdo em cima encontra-se representado o comportamento**

da córnea, em termos gráficos, ao longo de vários diâmetros. Neste mesmo lado, mas em baixo, são representados os índices e a classificação do queratocone,

Este módulo de paquimetria, além de devolver o respectivo mapa colorido, no canto inferior direito da Figura 6.2, possibilita visualizar o comportamento da espessura da córnea, em  $\mu\text{m}$  ou em %, em termos gráficos e compará-la com a espessura de uma população normal.

Relativamente às aberrações ópticas, estas podem ser avaliadas através do módulo de análise de Zernike, ilustrado na Figura 6.3.

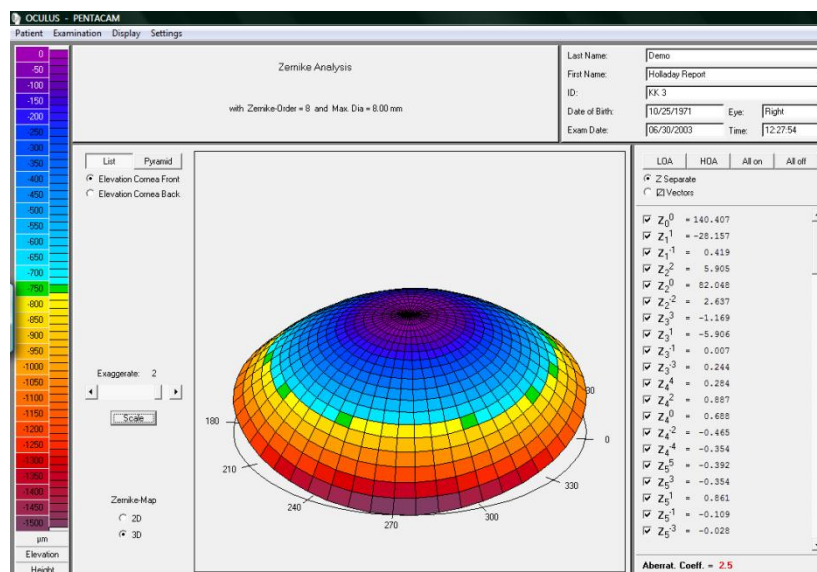


Figura 6.3: Módulo de análise de Zernike do sistema Pentacam.

Este módulo permite a visualização a 3D da geometria da córnea e calcula, tanto para a superfície anterior como para a posterior, os respectivos valores dos coeficientes dos polinómios de Zernike, através dos quais é calculado o coeficiente total de aberração, que, por sua vez, indica se a superfície da córnea contém frentes de onda atípicas que possam prejudicar a visão.





# Bibliografia

---

1. **Bobrow, J C.** Cristalino y cataratas. s.l. : Elsevier España, 2008.
2. Cataracts. [Online] Bupa, June de 2008.  
[http://hcd2.bupa.co.uk/fact\\_sheets/Mosby\\_factsheets/cataracts.html#4](http://hcd2.bupa.co.uk/fact_sheets/Mosby_factsheets/cataracts.html#4).
3. Cataracts. *Medicine.net.* [Online] Medicinenet, 1996.  
<http://www.medicinenet.com/cataracts/article.htm>.
4. Cataract. *National Eye Institute.* [Online] April de 2006.
5. **Lang, Gerhard K e Gareis, Oskar.** Ophthalmology: a pocket textbook atlas. 2 s.l. : Thieme, 2007.
6. **Freitas, Costa Freitas.** Dicionário de Termos Médicos. s.l. : Porto Editora, 2005.
7. **Hockwin, Otto.** Cataract Classification. s.l. : Documenta Ophthalmologica, 1995. Vol. 88(3), pp. 263-275.
8. **Chylack, Leo T, et al.** Lens Opacities Classification System. s.l. : Archieve Ophthalmology, 1988. Vol. 106, pp. 330-334.
9. **Sparrow, J M, et al.** Decimalization of the Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System. s.l. : Ophthalmic Epidemiology, 2000. Vol. 7(1), pp. 49-60.
10. **Chylack, Leo T, et al.** Lens Opacities Classification System III. s.l. : Archives of Ophthalmology, 1993. Vol. 111(6), pp. 831-826.
11. **Arné, Jean-Louis, Turut, Paul e Amzallag, Thierry.** Chirurgie de la cataracte. 2006.
12. **Henderson, Bonnie.** Essentials of Cataract Surgery. s.l. : SLACK Incorporated. pp. 80-92.
13. **Kurapkienè, S, et al.** The relationship of ultrasonic and mechanical properties of human nuclear cataract. A pilot study. s.l. : Ultragarsas, 2005. Vol. 54(1), pp. 39-43.
14. **Beneie, Goran, et al.** Clinical Importance of Lens Opacities Classification System (LOCS III) in Phacoemulsification. s.l. : Coll.Antropol., 2005. Vol. 29, 91-94.

15. **Davison, James A e Chylack, Leo T.** Clinical application of the Lens Opacities Classification System III in the performance of phacoemulsification. s.l. : Cataract Refractive Surgery, 2003. Vol. 29, pp. 138–145.
16. **Barkana, Yaniv, et al.** Central corneal thickness measurement with the Pentacam Scheimpflug system optical low-coherence reflectometry pachymeter, and ultrasound pachymetry. s.l. : Journal of Cataract and Refractive Surgery, 2005. Vol. 31(9), pp. 1729–1735.
17. **Belin, Michael W, et al.** Keratoconus / Ectasia Detection with the Oculus Pentacam: Belin / Ambrósio Enhanced Ectasia Display. s.l. : Highlights ophthalmology, 2007. Vol. 35(6).
18. **Chen, Davie e Lam, Andrew KC.** Reliability and repeatability of the Pentacam on corneal curvatures. s.l. : Clinical and Experimental Optometry, 2009. Vol. 92(2), pp. 110-118.
19. **Grewal, Satinder Pal S.** Evaluación de Patologías del Segmento Anterior Usando Pentacam. s.l. : Highlights of Ophthalmology, 2008. Vol. 36(1), pp. 17-20.
20. **Holladay, Jack.** Holladay Report on the Pentacam. s.l. : Oculus, 2008. pp. 10-15.
21. **Oculus, Inc.** The Pentacam: Precision, Confidence, Results, and Accurate “Ks!”. s.l. : Insert to Cataract and Refractive Surgery Today, 2007. pp. 16-26.
22. **Rabsilber, Tanja M, Khoramnia, Ramin e Auffarth, Gerd U.** Anterior chamber measurements using Pentacam rotating Scheimpflug camera. s.l. : Journal of Cataract and Refractive Surgery, 2006. Vol. 32(3), pp. 456–459.
23. **Shankar, Hema, et al.** Anterior segment biometry with the Pentacam: Comprehensive assessment of repeatability of automated measurements. s.l. : Journal of Cataract and Refractive Surgery, 2008. Vol. 34(1), pp. 103–113.
24. **Tehrani, Mana.** Application of the PENTACAM in anterior chamber measurements for phakic IOL surgery. s.l. : Oculus, 2008. pp. 8-9.
25. **Verges, Carlos e Cazal, Jorge.** Applications of PENTACAM in Anterior Segment Analysis. s.l. : Highlights ophthalmology, 2007. Vol. 35(3), pp. 11-15.

26. **Pei, X, et al.** Correlation of lens density measured using the Pentacam Scheimpflug system with the Lens Opacities Classification System III grading score and visual acuity in age-related nuclear cataract. s.l. : British Journal of Ophthalmology, 2008. Vol. 92, pp. 1471-1475.
27. **Rabsilber, T M, et al.** New 3-Dimensional Scheimpflug Analysis of Cataract Density. s.l. : Oculus , 2008.
28. **Rosales, Patricia e Marcos, Susana.** Pentacam Scheimpflug Quantitative Imaging of the Crystalline Lens and Intraocular Lens. s.l. : Journal of Refractive Surgery, 2009. Vol. 25(5), pp. 421-428.
29. **Junqueira, Luiz Carlos e Lange, José Carneiro.** Basic Histology. s.l. : International Edition, 2003. pp. 469-475.
30. **Tortora, G e Grabowski, S.** Introduction to the Human Body - The Essentials of Anatomy and Physiology. INC : Jonh Wiley & Sons, 2001. Vol. 5, pp. 282-286.
31. **Martins, Jorge Manuel.** Preditores das alterações visuais em jovens universitários. s.l. : Universidade de Santiago de Compostela, 2006.
32. **Hammond, Chistopher J, et al.** Genetic and enviromental factors in age-related nuclear cataracts in monozygotic and dizygotic twins. s.l. : New England Journal of Medicine, 2000. Vol. 342, pp. 1786-1790.
33. **Beneyto, P, et al.** Measurement of lens density with a Scheimpflug camera in diabetic patients. s.l. : Archivos de la Sociedad Espanola de Oftalmologia, 2007. Vol. 82, pp. 141-146.
34. **Boettner, E A e Wolter, J R.** Transmisson of the ocular media. s.l. : Investigative Ophthalmology & Visual Science, 1962. Vol. 1, p. 776:783.
35. **Maçãs, Ana e Diaz, Rita Nair.** Traumatismo Ocular e Catarata. 2008. p. 19.
36. **Chylack, Leo T, Leske, M Cristina e McCarthy, Daniel.** Lens Opacities Classification System II (LOCS II). s.l. : Archieves of Ophthalmology, 1989. Vol. 107, pp. 991-997.
37. **Li, Huiqi, et al.** Towards Automatic Grading System of Nuclear Cataract. s.l. : Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. pp. 4961-4964.

38. **Hall, A B, et al.** LOCS III versus Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System for the assessment of nuclear, cortical and posterior subcapsular cataract. s.l. : Ophthalmic Epidemiology , 1997. Vol. 4, pp. 179-194.
39. **Hockwin, O, Dragomirescu, V e Laser, H.** Measurements of Lens Transparency or Its Disturbances by Densitometric Image Analysis of Scheimpflug Photographs. s.l. : Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 1982. Vol. 219, pp. 255-262.
40. **Datiles III, Manuel B, Magno, Benjamin V e Freidlin, Valeria.** Study of nuclear cataract progression using the National Eye Institute Scheimpflug system. s.l. : British Journal of Ophthalmology, 1995. Vol. 79(6), pp. 527-534.
41. **Grewal, Dilraj, et al.** Pentacam Tomograms: A Novel Method for Quantification of Posterior Capsule Opacification. s.l. : Investigative Ophthalmology and Visual Science, 2008. Vol. 49(5), pp. 2004-2008.
42. Pentacam Manual Instructions.
43. <http://www.aolhealth.com/eye-care/learn-about-it/cataract/cataract-surgery>. [Online] Maio de 2009.
44. **AMO, Advanced Medical Optics.** Whitestar Signature, Manual do Proprietário e do Utilizador. USA : s.n., 2008.
45. **Khoramnia, Ramin, Rabsilber, Tanja M e Auffarth, Gerd U.** Central and peripheral pachymetry measurements according to age using the Pentacam rotating. s.l. : Journal of Cataract and Refractive Surgery, 2007. Vol. 33(5), pp. 830–836.
46. **Alonso, Ruiz Simonato.** Comparação da gonioscopia com a morfometria do segmento anterior pela fotografia de Scheimpflug. Brasil : Niterói, 2008.
47. **Subramanian, Ram.** Scheimpflug Videographic system to study human lens accommodation dynamics. University Of Wisconsin - Madison : Tese de Mestrado, 2004.
48. **Sousa, Joana.** Study of the PETACAM system for Ophthalmologic Diagnostic. FCT-UNL : s.n., 2009.
49. [en.wikipedia.org/wiki/Scheimpflug\\_principle](http://en.wikipedia.org/wiki/Scheimpflug_principle). [Online] 3 de March de 2009.

50. **Boyd, Samuel e Vejarano, Felipe.** Aplicación del Pentacam en Anillos Intraestromales. s.l. : Highlights ophthalmology, 2008. Vol. 36(2), pp. 13-15.
51. **Díaz, José A, et al.** Zernike coefficients for concentric, circular scaled pupils: an equivalent expression. s.l. : Journal of Modern Optics, 2009. Vol. 56(1), pp. 131–137.
52. **Comastri, Silvia A, et al.** Zernike expansion coefficients: rescaling and decentring for different pupils and evaluation of corneal aberrations. s.l. : Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, 2007. Vol. 9(3), pp. 209–221.
53. **Jankov, Mirko, et al.** Frentes de ondas (wavefronts) e limites da visão humana. Parte 1 - Fundamentos. 2002. Vol. 65, pp. 679-684.
54. **Viteri, Eduardo.** Using the Pentacam™ for IOL Power Calculation. s.l. : Highlights ophthalmology, 2008. Vol. 36(3), pp. 13-16.
55. **Murata, Celina, et al.** Estudo do segmento anterior com a câmera rotatória de Scheimpflug em pacientes candidatos à cirurgia refrativa. s.l. : Arquivo Brasileiro de Oftalmologia, 2007. Vol. 70(4), pp. 619-624.
56. **Valbon, Bruno, et al.** Correlations of Straylight, Aberrometry, and Lens Scattering in Cataract Patients. s.l. : American Society of Cataract and Refractive Surgery, 2009.
57. **Khu, Patricia M e Kashiwagi, Toyohiko.** Quantitating Nuclear Opacification in ColorScheimpflug Photographs. s.l. : Investigative Ophthalmology & Visual Science, 1993. Vol. 34, pp. 130-136.



# *Apêndices*





# Apêndice I

**Tabela A I-1: Representação dos valores das densidades ópticas médias medidas nos 9 cortes seleccionados no sistema Pentacam. Estas medições são relativas ao sistema LOCS III para o grupo com pupilas normais.**

Cortes																				Total	
Exame	Olho	1		2		3		4		5		6		7		8		9			
		Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.
1	Direito	12,5	42	12,2	28,6	12,2	24,3	12,2	30,2	11,8	30,2	11	27,8	11	29	10,6	25,5	11	31,4	11,6	29,9
2	Esquerdo	18,8	30,6	19,2	28,6	19,6	27,8	19,6	28,2	20	28,6	19,6	34,9	19,2	36,5	19,6	35,7	19,6	33,3	19,5	31,6
3	Esquerdo	11,8	26,3	12,5	29,8	13,3	32,5	13,7	33,3	13,3	31,8	12,9	30,6	12,9	34,1	12,9	32,9	12,9	35,3	12,9	31,8
	Direito	9	20,8	8,6	20	9	20,8	8,6	20,8	8,6	20,4	9,4	20,4	8,2	21,2	8,6	19,2	8,6	20	8,7	20,4
4	Direito	11,8	23,1	10,6	26,7	10,6	31	10,6	33,3	10,2	23,5	10,2	23,5	10,2	25,5	10,2	28,2	11	29	10,6	27,1
5	Esquerdo	13,7	23,5	12,9	25,9	14,5	25,5	13,3	26,3	14,9	25,1	14,5	25,9	14,5	25,9	14,1	25,5	14,5	29	14,1	25,8
	Direito	12,9	29,8	13,3	30,6	13,7	29,8	14,5	30,6	14,5	28,6	14,9	30,6	14,5	31,4	14,1	31	14,5	32,5	14,1	30,5
6	Esquerdo	7,8	14,9	8,6	14,9	9,4	14,9	9	14,9	9	15,7	9,4	14,9	8,6	14,1	9	15,3	9,4	14,9	8,9	14,9
	Direito	7,8	13,3	7,8	14,5	8,6	15,3	8,2	14,5	8,6	14,5	8,2	15,3	8,2	17,6	8,2	16,5	8,2	14,9	8,2	15,2
7	Esquerdo			9,8	16,9	11	17,6	11,4	18,8	11,8	18,8	11	18,4	10,2	19,6	11	19,6	11,4	20,4	11,0	18,8
8	Esquerdo	27,5	77,1	24,7	67,9	21,6	61,2	22	93,1	22,4	97,9	21,2	90,4	20	64,5	20	68,6	20,4	75,1	22,2	77,3
	Direito	11,8	22,7	11,4	22	11	20,8	11	20,8	9,8	20	10,2	18,8	10,2	19,2	10,2	19,2	9,8	20,8	10,6	20,5
9	Esquerdo	13,3	53,7	13,7	56,1	11,8	34,5	10,6	30,6	10,6	20,8	10,6	23,5	9,4	35,7	9,4	22,4	10,2	34,9	11,1	34,7
	Direito	9	19,6	9,4	35,7	11	40	10,2	46,3	11	40,4	10,2	33,1	9,8	27,8	9,8	29	9,8	24,3	10,0	32,9
10	Esquerdo	9	36,9	9,8	48,2	11	55,3	10,6	55,7	9,8	38,4	10,6	30,6	11,4	27,5	10,6	38,4	9,8	23,1	10,3	39,3
	Direito	9,4	22,7	9,4	23,1	9,4	25,9	9,4	19,2	9,8	19,2	10,2	19,6	9,8	19,2	10,6	20,8	10,6	20,8	9,8	21,2
11	Esquerdo	7,5	11,8	8,2	11,8	8,2	11,4	7,8	12,2	8,2	11	8,2	11,8	7,8	11,4	7,8	11,4	7,8	10,6	7,9	11,5
	Direito	9,4	16,9	9	17,3	9	17,6	9,4	16,9	9,4	17,3	9,4	16,5	9	17,6	9	16,9	8,6	16,1	9,1	17,0
12	Esquerdo	10,6	20	11,4	23,5	12,2	24,3	11,8	24,7	13,3	23,9	13,3	25,5	12,9	26,7	12,5	24,7	12,9	28,2	12,3	24,6
	Direito	10,6	20,4	11,4	22,4	11,4	22,4	11,4	23,5	11	23,5	11	22	11,8	21,6	12,5	20,8	12,2	20,4	11,5	21,9

## Apêndice II

**Tabela A II-1: Representação dos valores das densidades ópticas médias medidas nos 9 cortes seleccionados no sistema Pentacam. Estas medições são relativas ao sistema PNS para o grupo com pupilas normais.**

Cortes																				Total	
Exame	Olho	1		2		3		4		5		6		7		8		9			
		Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx		
1	Direito	12,5	42	12,2	28,6	12,2	24,3	12,2	30,2	11,8	30,2	11	27,8	11	29	10,6	25,5	11	31,4	11,6	29,9
2	Esquerdo	18,8	30,6	19,2	28,6	19,6	27,8	19,6	28,2	20	28,6	19,6	34,9	19,2	36,5	19,6	35,7	19,6	33,3	19,5	31,6
3	Esquerdo	13,3	26,7	13,7	25,5	13,7	23,5	13,3	25,9	13,3	25,1	13,3	23,1	13,3	23,5	13,7	25,5	13,7	31	13,5	25,5
	Direito	17,3	37,3	17,3	38,4	17,3	38,4	16,9	36,9	17,6	37,6	16,1	38	16,5	41,2	16,5	44,7	14,9	42,7	16,7	39,5
4	Esquerdo	11,8	26,3	12,5	29,8	13,3	32,5	13,7	33,3	13,3	31,8	12,9	30,6	12,9	34,1	12,9	32,9	12,9	35,3	12,9	31,8
	Direito	9	20,8	8,6	20	9	20,8	8,6	20,8	8,6	20,4	9,4	20,4	8,2	21,2	8,6	19,2	8,6	20	8,7	20,4
5	Esquerdo	11,8	23,1	10,6	26,7	10,6	31	10,6	33,3	10,2	23,5	10,2	23,5	10,2	25,5	10,2	28,2	11	29	10,6	27,1
6	Esquerdo	13,7	23,5	12,9	25,9	14,5	25,5	13,3	26,3	14,9	25,1	14,5	25,9	14,5	25,9	14,1	25,5	14,5	29	14,1	25,8
	Direito	12,9	29,8	13,3	30,6	13,7	29,8	14,5	30,6	14,5	28,6	14,9	30,6	14,5	31,4	14,1	31	14,5	32,5	14,1	30,5
7	Esquerdo	7,8	14,9	8,6	14,9	9,4	14,9	9	14,9	9	15,7	9,4	14,9	8,6	14,1	9	15,3	9,4	14,9	8,9	14,9
	Direito	7,8	13,3	7,8	14,5	8,6	15,3	8,2	14,5	8,6	14,5	8,2	15,3	8,2	17,6	8,2	16,5	8,2	14,9	8,2	15,2
8	Esquerdo	27,5	77,1	24,7	67,9	21,6	61,2	22	93,1	22,4	97,9	21,2	90,4	20	64,5	20	68,6	20,4	75,1	22,2	77,3
9	Esquerdo	13,3	53,7	13,7	56,1	11,8	34,5	10,6	30,6	10,6	20,8	10,6	23,5	9,4	35,7	9,4	22,4	10,2	34,9	11,1	34,7
	Direito	9	19,6	9,4	35,7	11	40	10,2	46,3	11	40,4	10,2	33,1	9,8	27,8	9,8	29	9,8	24,3	10,0	32,9
10	Esquerdo	9	36,9	9,8	48,2	11	55,3	10,6	55,7	9,8	38,4	10,6	30,6	11,4	27,5	10,6	38,4	9,8	23,1	10,3	39,3
	Direito	9,4	22,7	9,4	23,1	9,4	25,9	9,4	19,2	9,8	19,2	10,2	19,6	9,8	19,2	10,6	20,8	10,6	20,8	9,8	21,2
11	Esquerdo	7,5	11,8	8,2	11,8	8,2	11,4	7,8	12,2	8,2	11	8,2	11,8	7,8	11,4	7,8	11,4	7,8	10,6	7,9	11,5
	Direito	9,4	16,9	9	17,3	9	17,6	9,4	16,9	9,4	17,3	9,4	16,5	9	17,6	9	16,9	8,6	16,1	9,1	17,0
12	Esquerdo	10,2	18,8	10,6	20	10,6	19,6	10,6	19,2	10,6	18,8	10,6	20,4	10,2	21,6	10,2	22	10,2	21,2	10,4	20,2
	Direito	9,8	22,7	9,8	23,5	9,4	23,5	10,2	23,9	9,4	23,1	9,8	23,5	9,4	23,1	9	22	9	22,4	9,5	23,1
13	Esquerdo	10,6	20	11,4	23,5	12,2	24,3	11,8	24,7	13,3	23,9	13,3	25,5	12,9	26,7	12,5	24,7	12,9	28,2	12,3	24,6
	Direito	10,6	20,4	11,4	22,4	11,4	22,4	11,4	23,5	11	23,5	11	22	11,8	21,6	12,5	20,8	12,2	20,4	11,5	21,9

## Apêndice III

As seguintes tabelas contêm os dados estatísticos para os coeficientes das equações das rectas ( $y=Ax+B$ ) obtidas para a relação densidade média e máxima, respectivamente, com os graus CN do sistema LOCS III, no grupo com pupilas normais.

**Tabela A III-1: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade média medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema LOCS III, para o grupo com pupilas normais.**

Modos	Coeficiente $\pm$ EP	
	A	B
Manual	$0,7 \pm 0,6$	$10,0 \pm 1,8$
Automático	$0,7 \pm 0,7$	$11,5 \pm 1,9$

**Tabela A III-2: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade máxima medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema LOCS III, para o grupo com pupilas normais.**

Modos	Coeficiente $\pm$ EP	
	A	B
Manual	$1,0 \pm 2,4$	$24,5 \pm 7,2$
Automático	$-0,1 \pm 3,2$	$35,4 \pm 9,5$

## Apêndice IV

As seguintes tabelas contêm os dados estatísticos para os coeficientes das equações das rectas ( $y=Ax+B$ ) obtidas para a relação densidade média e máxima, respectivamente, com os graus do sistema PNS, no grupo com pupilas normais.

**Tabela A IV-1: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade média medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema PNS, para o grupo com pupilas normais.**

Modos	Coeficiente $\pm$ EP	
	A	B
Manual	$3,6 \pm 0,6$	$7,0 \pm 1,0$
Automático	$3,5 \pm 0,6$	$8,4 \pm 1,0$

**Tabela A IV-2: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade máxima medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema PNS, para o grupo com pupilas normais.**

Modos	Coeficiente $\pm$ EP	
	A	B
Manual	$11,4 \pm 2,8$	$12,3 \pm 4,4$
Automático	$12,1 \pm 4,0$	$17,2 \pm 6,2$

## Apêndice V

**Tabela A V-1: Representação dos valores das densidades ópticas médias medidas nos 9 cortes seleccionados no sistema Pentacam. Estas medições são relativas ao sistema LOCS III para o grupo com pupilas dilatadas.**

Cortes																				Total	
Exame	Olho	1		2		3		4		5		6		7		8		9			
		Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.
1	Direito	9,8	33,7	9	36,1	9	25,9	9,8	28,6	9	32,5	9,4	47,5	9,4	36,9	9,8	31,8	10,2	44,7	9,5	35,3
2	Esquerdo	15,3	69	13,7	61,2	15,7	56,9	16,1	80,8	14,9	52,2	16,1	63,9	14,5	71,4	16,1	79,2	17,7	78,8	15,6	66,6
	Direito	9	20,8	9	21,6	9	20,4	9	19,6	9	26,3	9	26,3	9	25,9	9,4	31,4	9	30,6	9,0	24,8
3	Esquerdo	14,9	34,9	14,9	34,5	14,1	32,9	14,1	35,7	14,5	39,6	14,1	35,3	15,7	57,6	15,7	57,6	14,9	60,8	14,8	43,2
4	Direito	7,5	36,9	8,2	39,2	7,8	32,5	7,8	32,2	7,8	33,3	7,8	31	7,8	35,7	7,8	27,1	7,8	16,9	7,8	31,6
5	Direito	8,6	18	8,6	19,2	9	19,6	8,2	18,8	8,6	18,4	9	19,6	8,2	18,4	9	18,4	9,4	18	8,7	18,7
6	Esquerdo	10,2	61,6	9,4	55	9,8	37,3	10,2	36	9,4	36,8	9	32,2	9,4	28,6	9,8	27,8	9	25,9	9,6	37,9
	Direito	12,9	62,7	11	55,3	11	53,3	10,6	58,4	10,6	56,5	11,4	54,9	10,2	52,9	10,6	52,5	10,6	52,2	11,0	55,4
7	Esquerdo	10,6	22,7	10,2	23,1	10,2	23,1	10,2	23,1	10,2	23,1	10,6	23,5	11	20,4	11	20,4	11	19,6	10,6	22,1
	Direito	9,8	17,2	10,2	17,5	10,6	17,7	10,2	17,5	10,2	17,3	9,8	19	10,6	18,6	10,2	20,2	10,6	23,8	10,2	18,8
8	Esquerdo	15,3	29,4	14,5	27,1	15,3	29	16,5	38,8	18,8	40,8	16,1	34,1	16,9	32,5	17,3	34,9	17,3	32,9	16,4	33,3
9	Esquerdo	31,8	91	32,2	98,8	30,6	89	30,2	89,8	29,4	96,5	31	100	31,4	99,2	32,9	99,2	30,2	97,3	31,1	95,6
	Direito	21,6	96,1	22,7	89	22,4	90,6	24,7	100	24,7	94,4	26,3	96,9	28,2	100	27,5	99,2	26,7	92,5	25,0	95,4
10	Esquerdo	9,4	20	9,4	20,8	9,8	21,2	9,4	18,8	9,8	18,4	9,4	20	9,8	20,4	9,4	22	9,8	23,9	9,6	20,6
	Direito	9,8	34,9	9,8	32,9	10,2	39,2	10,2	34,5	9,8	34,9	10,6	32,3	10,6	30,2	10,6	28	11	28,2	10,3	32,8

## Apêndice VI

**Tabela A VI-1: Representação dos valores das densidades ópticas médias medidas nos 9 cortes seleccionados no sistema Pentacam. Estas medições são relativas ao sistema PNS para o grupo com pupilas dilatadas.**

Cortes																				Total	
Exame	Olho	1		2		3		4		5		6		7		8		9			
		Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.		
1	Direito	9,8	33,7	9	36,1	9	25,9	9,8	28,6	9	32,5	9,4	47,5	9,4	36,9	9,8	31,8	10,2	44,7	9,5	35,3
2	Esquerdo	15,3	69	13,7	61,2	15,7	56,9	16,1	80,8	14,9	52,2	16,1	63,9	14,5	71,4	16,1	79,2	17,7	78,8	15,6	66,6
	Direito	9	20,8	9	21,6	9	20,4	9	19,6	9	26,3	9	26,3	9	25,9	9,4	31,4	9	30,6	9,0	24,8
3	Direito	7,5	36,9	8,2	39,2	7,8	32,5	7,8	32,2	7,8	33,3	7,8	31	7,8	35,7	7,8	27,1	7,8	16,9	7,8	31,6
4	Direito	8,6	18	8,6	19,2	9	19,6	8,2	18,8	8,6	18,4	9	19,6	8,2	18,4	9	18,4	9,4	18	8,7	18,7
5	Esquerdo	10,2	61,6	9,4	55	9,8	37,3	10,2	36	9,4	36,8	9	32,2	9,4	28,6	9,8	27,8	9	25,9	9,6	37,9
	Direito	12,9	62,7	11	55,3	11	53,3	10,6	58,4	10,6	56,5	11,4	54,9	10,2	52,9	10,6	52,5	10,6	52,2	11,0	55,4
6	Esquerdo	10,6	22,7	10,2	23,1	10,2	23,1	10,2	23,1	10,2	23,1	10,6	23,5	11	20,4	11	20,4	11	19,6	10,6	22,1
	Direito	9,8	17,2	10,2	17,5	10,6	17,7	10,2	17,5	10,2	17,3	9,8	19	10,6	18,6	10,2	20,2	10,6	23,8	10,2	18,8
7	Esquerdo	15,3	29,4	14,5	27,1	15,3	29	16,5	38,8	18,8	40,8	16,1	34,1	16,9	32,5	17,3	34,9	17,3	32,9	16,4	33,3
8	Esquerdo	31,8	91	32,2	98,8	30,6	89	30,2	89,8	29,4	96,5	31	100	31,4	99,2	32,9	99,2	30,2	97,3	31,1	95,6
	Direito	21,6	96,1	22,7	89	22,4	90,6	24,7	100	24,7	94,4	26,3	96,9	28,2	100	27,5	99,2	26,7	92,5	25,0	95,4
9	Esquerdo	9,4	20	9,4	20,8	9,8	21,2	9,4	18,8	9,8	18,4	9,4	20	9,8	20,4	9,4	22	9,8	23,9	9,6	20,6
	Direito	9,8	34,9	9,8	32,9	10,2	39,2	10,2	34,5	9,8	34,9	10,6	32,3	10,6	30,2	10,6	28	11	28,2	10,3	32,8

## Apêndice VII

As seguintes tabelas contêm os dados estatísticos para os coeficientes das equações das rectas ( $y=Ax+B$ ) obtidas para a relação densidade média e máxima, respectivamente, com os graus CN do sistema LOCS III, no grupo com pupilas dilatadas.

**Tabela A VII-1: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade média medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema LOCS III, para o grupo com pupilas dilatadas.**

Modos	Coeficiente $\pm$ EP	
	A	B
Manual	$1,6 \pm 1,4$	$9,2 \pm 5,3$
Automático	$1,8 \pm 2,9$	$10,7 \pm 10,5$

**Tabela A VII-2: Representação dos coeficientes A e B das equações das rectas dos gráficos da densidade máxima medida nos dois modos. Estas equações são relativas ao sistema LOCS III, para o grupo com pupilas dilatadas.**

Modos	Coeficiente $\pm$ EP	
	A	B
Manual	$-1,5 \pm 4,8$	$47,4 \pm 17,8$
Automático	$-7,2 \pm 5,0$	$79,7 \pm 18,5$

# *Anexos*





## Anexo I

A representação gráfica que segue representa a relação dos valores de potência de ultra-sons em unidades de Watts com os respectivos valores em percentagem (%).

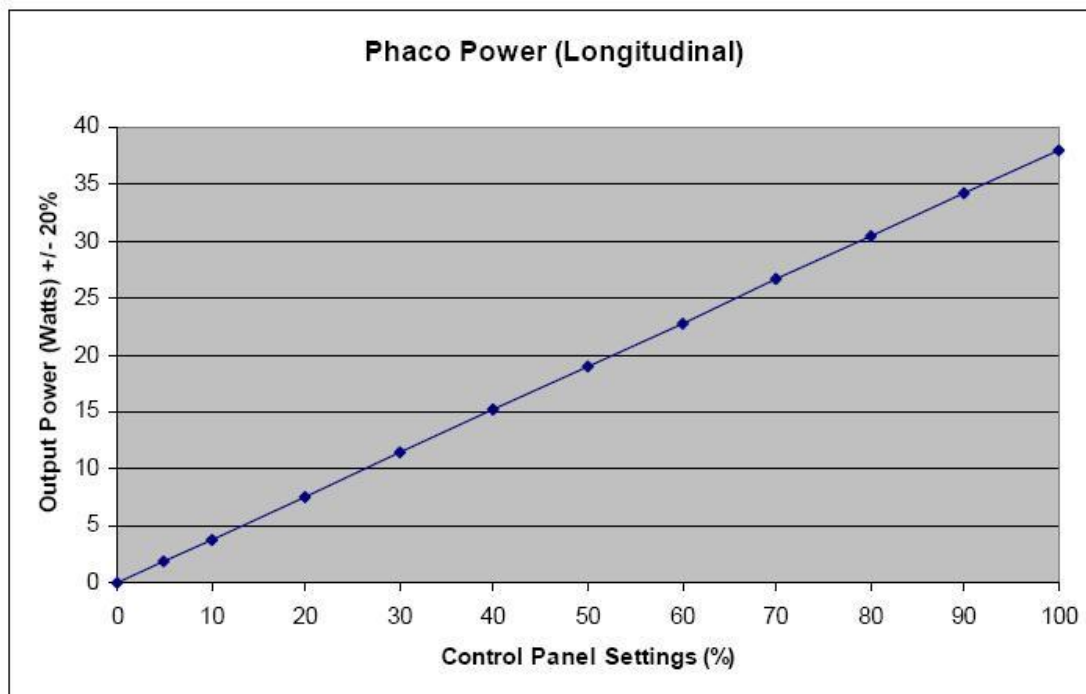


Figura A I-1: Representação dos valores da potência dos ultra-sons em percentagem com os seus correspondentes em unidades de Watts.