



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
Faculdade de Medicina Veterinária

**TONOMETRIA EM AVES DE RAPINA – ASPECTOS DA SUA APLICAÇÃO NA PRÁTICA
CLÍNICA**

ANA RITA DA COSTA PISA

CONSTITUIÇÃO DO JÚRI

Doutora Esmeralda Sofia da Costa Delgado

Doutor Luís Manuel Madeira de Carvalho

Doutora Sandra de Oliveira Tavares de Sousa
Jesus

Dr. Fernando González González

ORIENTADOR

Dr. Fernando González González

CO-ORIENTADOR

Doutor Luís Manuel Madeira de Carvalho

2011

LISBOA



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
Faculdade de Medicina Veterinária

**TONOMETRIA EM AVES DE RAPINA – ASPECTOS DA SUA APLICAÇÃO NA PRÁTICA
CLÍNICA**

ANA RITA DA COSTA PISA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

CONSTITUIÇÃO DO JÚRI

Doutora Esmeralda Sofia da Costa Delgado

Doutor Luís Manuel Madeira de Carvalho

Doutora Sandra de Oliveira Tavares de Sousa
Jesus

Dr. Fernando González González

ORIENTADOR

Dr. Fernando González González

CO-ORIENTADOR

Doutor Luís Manuel Madeira de Carvalho

2011

LISBOA

“It is an old story: good intentions, combined with ecological ignorance, are a recipe for iatrogenic disaster.”

Michael Soulé

AGRADECIMENTOS

À DIMAVET e a Javier Romo pela cedência do tonómetro Tono-Pen Vet® sem o qual a realização deste trabalho não teria sido possível.

Ao meu orientador, Dr. Fernando González González por ter acreditado desde o início que este estudo seria possível, pelo seu incentivo e apoios constantes. Pela sua amizade, por partilhar sempre um sorriso e pela sua grande disponibilidade, tanto nos meses de trabalho como nos meses passados à distância.

Ao meu co-orientador, Prof. Doutor Luís Manuel Madeira de Carvalho, por me ter aceite como sua orientanda, pela ajuda a organizar ideias mesmo antes de começar o estágio, pelo acompanhamento e apoios constantes, pela compreensão e disponibilidade demonstradas ao longo deste meu percurso.

Ao Dr. Telmo Nunes pela sua paciência e ajuda indispensável com o tratamento estatístico dos dados.

A toda a equipa do GREFA, desde trabalhadores a voluntários. Aos colegas tornados bons amigos que passaram um tempo intensivo comigo no GREFA, eles sabem quem são. Obrigada a todos pela ajuda, colaboração e companhia constante. À Márcia Viana por entender na pele todas as experiências vivenciadas, pelo carinho, pelas suas palavras amigas e sensatas. À Irene López por todos os seus ensinamentos e conselhos, paciência e amizade. Ao José Mendoza, que apesar da curta convivência, sempre demonstrou o seu apoio e simpatia. À Virginia Moraleda pela passagem dos conhecimentos, pela camaradagem no hospital, pela boa amizade dentro e fora dele.

A toda a família Izquierdo pela preocupação e apoio, em particular ao Pablo Izquierdo por me ter acompanhado e ajudado na realização deste trabalho. Por todo o seu carinho incondicional e por me chamar à razão sempre que preciso.

A todos os meus amigos por, cada um à sua maneira, ter estado presente neste meu caminho e sempre me terem apoiado, adoro cada um de vocês. Um obrigado especial à Sara Sequeira, Jessica Gonçalves e Joana Gonçalves, elas sabem porquê.

A toda a minha família em especial aos meus pais, avó Ana, irmão, cunhada e sobrinho, embora palavras não cheguem para agradecer nem descrever a dimensão de tudo o que sempre fizeram por mim e aquilo que representam na minha vida.

Obrigada.

TONOMETRIA EM AVES DE RAPINA – ASPECTOS DA SUA APLICAÇÃO NA PRÁTICA CLÍNICA

Resumo

Uma apreciação correcta e atempada da pressão intraocular (PIO) é crítica para a avaliação de alterações oculares como o glaucoma e uveíte. Na prática clínica esta é realizada recorrendo à sua medição indirecta através da tonometria. No entanto, para que esta tenha valor diagnóstico, o clínico necessita conhecer os valores normais de PIO das espécies examinadas.

Neste estudo foi realizada a tonometria de aplanamento com recurso ao Tono-Pen VET® (*Reichert Technologies*, 230635V, Nova Iorque, E.U.A.), para estimar a PIO em 40 Peneireiros das torres (*Falco naumanni*) e 12 Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*), animais residentes no Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA) em Madrid, Espanha.

Antes da tonometria foi realizado um exame físico e oftalmológico completo a todas as aves, garantindo o seu estado hígido para integração neste estudo. As medições tonométricas foram realizadas após a aplicação de uma gota de anestésico tópico (hidroclorato de oxibuprocaina e hidroclorato de tetracaína, Colircusi Anestésico Doble®, Laboratórios Alcon, Barcelona, Espanha) na superfície corneana dos animais.

A média (\pm DP) de PIO no Peneireiro das torres foi de $11,4 \pm 2,7$ mmHg (68 olhos) e de $13,9 \pm 3,5$ mmHg (22 olhos) no Peneireiro comum. Não se encontraram efeitos significativos na mesma entre sexos, idades, olho direito e esquerdo e o número da medição para ambas as espécies. Foram encontradas diferenças significativas entre espécies (teste de duas amostras de Wilcoxon, $P=0,017$).

Alguns aspectos inerentes à técnica tonométrica foram ainda avaliados, em relação aos quais, se verificou que a temperatura do ambiente em que se efectuaram as medições tonométricas tinha efeito na PIO, o qual foi significativo (teste de duas amostras de Wilcoxon, $P=0,047$). Sugere-se ainda, que a realização de medições pode beneficiar da crescente experiência do utilizador no manuseamento do tonómetro.

Em geral, a tonometria de aplanamento demonstrou ser um método diagnóstico da PIO com aplicabilidade e facilidade de utilização bem como, apresentou um boa aceitação por parte das aves de rapina abordadas. No entanto, ao não existir um instrumento ideal para cada animal, é uma técnica que deve considerar a variabilidade existente entre espécies, indivíduos e utilizadores.

Palavras-chave: Tonometria, Pressão intraocular, GREFA, Aves de rapina, *Falco naumanni*, *Falco tinnunculus*.

TONOMETRY IN BIRDS OF PREY – ASPECTS OF ITS APPLICATION IN THE CLINICAL PRACTICE

Abstract

An accurate and early assessment of intraocular pressure (IOP) is essential for evaluating ocular disorders such as glaucoma and uveitis. In the clinical practice this is accomplished by its indirect measure through tonometry. Nevertheless, for it to be of diagnostic value the clinician must know the normal values of the examined species.

In this study applanation tonometry was performed using the Tono-Pen VET[®] (*Reichert Technologies*, 230635V, New York, U.S.A.), to estimate IOP in 40 Lesser kestrels (*Falco naumanni*) and 12 Common kestrels (*Falco tinnunculus*), resident animals of the Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (GREFA), in Madrid, Spain.

Before the tonometry, a complete physical and ophthalmological examination was carried out in all birds ensuring their healthy state for inclusion in this study. Tonometric measurements were performed after application of one drop of topical anesthetic (oxybuprocaine hydrochloride and tetracaine hydrochloride, Colircusi Anestésico Doble[®], Alcon Laboratories, Barcelona, Spain) on the animals' corneal surface.

Mean (\pm SD) IOP in the Lesser kestrel was $11,4 \pm 2,7$ mmHg (68 eyes) and $13,9 \pm 3,5$ mmHg (22 eyes) in the Common kestrel. There were no significant effects between sex, age, right and left eye or reading number on the IOP measured in any of the species. Significant differences were found between species (Two-sample Wilcoxon, $P=0,017$).

Some inherent aspects to the tonometry technique were also evaluated, for which it was found that the environment temperature in which the measurements took place had a significant effect on the IOP (Two-sample Wilcoxon, $P=0,047$). It is also suggested that the performance of measurements can benefit from the growing user experience in handling the tonometer.

In general, applanation tonometry has proven to be an IOP diagnostic method with great application, easy use and showing a good acceptance by the bird of prey patient. However, since there isn't an ideal instrument for each animal, it is a technique that must consider the variability among species, individuals and users.

Key Words: Tonometry, Intraocular pressure, GREFA, Birds of prey, *Falco naumanni*, *Falco tinnunculus*.

Índice

Capítulo 1. Descrição de Actividades de Estágio	1
Capítulo 2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. Introdução	5
2.2. Oftalmologia ornitológica	7
2.3. A visão das aves – revisão anatómica e funcional	10
2.3.1. Globo ocular	11
2.3.2. Órbita	13
2.3.3. Pálpebras	14
2.3.4. Túnica fibrosa (córnea e esclera).....	16
2.3.5. Lente	17
2.3.6. Íris	18
2.3.7. Corpo ciliar	20
2.3.8. Ângulo irido-corneal.....	21
2.3.9. Pécten	22
2.4. Humor aquoso e pressão intraocular (PIO).....	25
2.5. Patologia da pressão intraocular.....	28
2.5.1. Glaucoma.....	28
2.5.1.1. Glaucoma nas aves.....	29
2.5.2. Hipotensão ocular.....	31
2.6. Medição da pressão intraocular	32
2.6.1. Manometria	32
2.6.2. Tonometria	32
2.6.2.1. Tonometria digital	33
2.6.2.2. Tonometria de indentação	33
2.6.2.3. Tonometria de impacto ou dinâmica (Rebound Tonometry).....	35
2.6.2.4. Tonometria de aplanamento	37
2.6.2.5. O tonómetro de aplanamento Tono-Pen.....	41
Capítulo 3. Desenvolvimento Experimental.....	44
3.1. Objectivos.....	44
3.2. Material e Métodos	44
3.2.1. Animais.....	44
3.2.2. Preparação do tonómetro Tono-Pen VET®	45
3.2.3. Exame oftalmológico	46
3.2.4. Determinação de valores de PIO	46
3.2.5. Análise estatística de dados	47

Capítulo 4. Resultados.....	50
4.1. População de pacientes.....	50
4.1.1. Exame físico	50
4.1.2. Achados oftalmológicos	50
4.1.3. Idade e sexo	51
4.2. Determinação de valores de PIO	52
4.2.1. Peneireiros das torres.....	52
4.2.2. Peneireiros comuns	55
4.2.3. Peneireiros das torres vs Peneireiros comuns	56
Capítulo 5. Discussão	57
A - Achados oftalmológicos	58
B - Determinação de valores de PIO	60
Capítulo 6. Conclusão.....	67
Capítulo 7. Referências Bibliográficas.....	69

Índice de Figuras

Figura 1. Gráfico representativo de entradas no GREFA no período compreendido entre 1 de Outubro de 2010 e 31 de Março de 2011, segundo classe de animais.	1
Figura 2. Cuidados prestados a aves e mamíferos na enfermaria e no reptilário a répteis e anfíbios.	2
Figura 3. Cirurgia de redução de fractura cominutiva de úmero de Bufo Real (<i>Bufo bubo</i>) por meio de agulha intramedular e <i>cerclages</i>	2
Figura 4. Radiografias realizadas no GREFA.	3
Figura 5. Exame clínico de um Abutre negro (<i>Aegypius monachus</i>).	3
Figura 6. Anel esclerótico de Accipitriforme e Strigiforme.	12
Figura 7. Crânio dissecado de exemplar de Bufo real (<i>Bufo bubo</i>), evidenciando o desenvolvido olho do tipo tubular e seu anel esclerótico.	13
Figura 8. Águia açor africana (<i>Hieraaetus spilogaster</i>). Pormenor da crista ocular.	14
Figura 9. Cria de Peneireiro das torres (<i>Falco naumanni</i>) com 2 dias de idade e fenda palpebral encerrada.	15
Figura 10. Águia açor africana (<i>Hieraaetus spilogaster</i>). Movimento da membrana nictitante em resposta ao estímulo do reflexo corneal.	15
Figura 11. Administração intracameral de D-tubocurarina num Bufo real (<i>Bufo bubo</i>) para obtenção de midríase.	19
Figura 12. Esquema de uma secção meridional através do corpo ciliar e zona do ângulo iridocorneal de um olho de Águia de asa redonda (<i>Buteo buteo</i>).	21
Figura 13. Observação do fundo ocular por oftalmoscopia indirecta.	22
Figura 14. Esquema de um processo ciliar demonstrando as forças hidrostáticas envolvidas na formação do humor aquoso	27
Figura 15. Sequelas oculares de trauma.	30
Figura 16. Medição da PIO com Tonómetro de Schiøtz num exemplar de Abutre negro (<i>Aegypius monachus</i>).	35
Figura 17. Traçado típico de PIO produzido pelo Tonómetro de Mackay-Marg.	40
Figura 18. Medição da PIO num exemplar de Milhafre real (<i>Milvus milvus</i>) com o tonómetro Tono-Pen Vet®.	42
Figura 19. Instalação comunitária para cria em cativeiro de Peneireiro das torres (<i>Falco naumanni</i>).	45
Figura 20. Medição de PIO em exemplares de Peneireiros das torres (<i>Falco naumanni</i>). ...	47
Figura 21. Exemplar de Peneireiro das torres (<i>Falco naumanni</i>). Macho sub-adulto, realizando a muda de penas.	48
Figura 22. Exemplares de Peneireiros das torres (<i>Falco naumanni</i>) com lesões oculares. ...	50
Figura 23. Exemplares de Peneireiros comuns (<i>Falco tinnunculus</i>) com lesões oculares. ...	51

Figura 24. Comparação de PIO (mmHg) entre idades de animais examinados da espécie Peneireiro das torres (<i>Falco naumanni</i>).	53
Figura 25. Comparação de PIO (mmHg) entre sexos de animais examinados da espécie Peneireiro das torres (<i>Falco naumanni</i>).	53
Figura 26. Comparação de PIO (mmHg) entre os locais onde se realizaram as medições aos indivíduos da espécie Peneireiro das torres (<i>Falco naumanni</i>) (7°C e 22°C respectivamente para o exterior e interior).	54
Figura 27. Comparação dos valores de desvio padrão das médias de PIO obtidas ao longo de 4 dias.	55
Figura 28. Comparação de PIO (mmHg) entre sexos de animais examinados da espécie Peneireiro comum (<i>Falco tinnunculus</i>).	55
Figura 29. Comparação de PIO (mmHg) entre idades de animais examinados da espécie Peneireiro comum (<i>Falco tinnunculus</i>).	56
Figura 30. Comparação de PIO (mmHg) entre as duas espécies estudadas.	56

Índice de Tabelas

Tabela 1. Distribuição por sexo das aves examinadas.....	51
Tabela 2. Distribuição por idade das aves examinadas.	51
Tabela 3. Estatística descritiva da PIO de olhos saudáveis. Medições realizadas a 22°C.....	52
Tabela 4. Estatística descritiva da PIO em olhos saudáveis. Medições realizadas a 7°C.....	52
Tabela 5. Valores de PIO obtidos para exemplares da espécie Peneireiro comum (<i>Falco tinnunculus</i>), por diferentes autores e respectivos tonómetros.....	62

Lista de Abreviaturas

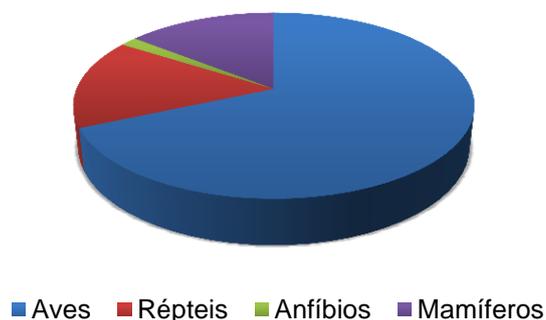
®	Marca registrada
ADP	Adenosina difosfato
AQP	Aquaporina
ATP	Adenosina trifosfato
CGR	Células ganglionares da retina
D	Dioptria
DP	Desvio padrão
LCD	<i>Liquid crystal display</i>
LIAG	<i>Light-induced avian glaucoma</i>
mmHg	Milímetros de mercúrio
n	Número de indivíduos
OD	Olho direito
OE	Olho esquerdo
Pa	Pascal
PIO	Pressão intraocular
spp.	Espécies

Capítulo 1. Descrição de Actividades de Estágio

A presente dissertação de mestrado foi realizada no âmbito do estágio curricular do Mestrado Integrado em Medicina Veterinária, na área da Clínica de Fauna Selvagem. O estágio decorreu no GREFA – Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat (Madrid, Espanha) no período compreendido entre 1 de Outubro de 2010 a 31 de Março de 2011, sob a orientação do Dr. Fernando González González e co-orientação do Professor Doutor Luís Manuel Madeira de Carvalho. O estágio decorreu de segunda a domingo com um dia de descanso por semana, prefazendo uma carga horária aproximada de 54 horas semanais.

As actividades encontraram-se organizadas de forma a permitir a passagem pelos vários sectores do Hospital de Fauna: enfermaria, necrópsias e laboratório. Foram assistidos, durante o mencionado período cerca de 370 animais entre os quais aves, répteis, anfíbios e mamíferos (Fig.1).

Figura 1. Gráfico representativo de entradas no GREFA no período compreendido entre 1 de Outubro de 2010 e 31 de Março de 2011, segundo classe de animais.



Todas as manhãs eram revistos e discutidos, com os veterinários residentes, todos os casos clínicos presentes na enfermaria e delineado um plano de acções para o dia, bem como analisado e delimitado o trabalho existente para necrópsias e laboratório. Na enfermaria, foram realizadas actividades de recepção de novos animais admitidos ao hospital, realizado o seu exame físico e determinada a sua causa de admissão; foram aplicados os cuidados clínicos básicos de emergência como fluidoterapia endovenosa e subcutânea, estabilização de fracturas e luxações, pensos, suturas de feridas, exames oftalmológicos, manejo farmacológico, colheitas de sangue, entre outras. Para além disso foi realizada a manutenção dos animais em internamento, a qual consistia na apreciação de bem estar diária, medicação, alimentação e exame médico periódico para avaliação da progressão dos mesmos. Também no âmbito da enfermaria, as mesmas actividades descritas foram

realizadas para os répteis admitidos, onde todos os cuidados eram realizados num espaço físico distinto, o reptilário (Fig.2).

Figura 2. Cuidados prestados a aves e mamíferos na enfermaria e no reptilário a répteis e anfíbios.



A enfermaria encontrava-se preparada com uma sala de cirurgia e zona pré-cirúrgica completamente equipadas. Durante o período de estágio realizou-se a assistência a 22 cirurgias (Fig.3), sendo a maioria de carácter ortopédico. Realizou-se a preparação pré-cirúrgica de todo o material e dos pacientes, passando por todos os postos de uma equipa cirúrgica mas com especial interesse pelo posto de anestesiologista. Foi realizado também o maneio pós-cirúrgico dos pacientes bem como o seu acompanhamento em todo o processo de recuperação.

Figura 3. Cirurgia de redução de fractura cominutiva de úmero de Bufo Real (*Bufo bubo*) por meio de agulha intramedular e *cerclages*.



Foi também dada à aluna a oportunidade de assistir às sessões de fisioterapia realizadas a vários animais, documentando o seu progresso ao longo de aplicação de tratamentos laser e com ultra-som, entre outros. Experiência interessante e enriquecedora pela sua componente inovadora na clínica de fauna selvagem.

Como métodos de diagnóstico imagiológicos dispunha-se de uma sala de radiografia totalmente preparada, ecógrafo e endoscópio, tendo a aluna acesso a todos eles durante o

seu estágio. Foram realizadas inúmeras radiografias de diagnóstico e controle, assistência e participação em endoscopias para sexagem de aves, diagnóstico e controle de aspergilose e assistência a ecografias realizadas a aves, mamíferos e répteis.

Figura 4. Radiografias realizadas no GREFA.



Da esquerda para a direita: presença de esferas de chumbo num Grifo (*Gyps fulvus*); plano dorso-ventral de Cágado-Mediterrâneo (*Mauremys leprosa*); presença de fratura vertebral numa Raposa (*Vulpes vulpes*).

Participou-se ainda na realização das avaliações periódicas de alguns animais residentes do GREFA para programas de cria em cativeiro, as quais consistiam em exame físico completo, colheita de sangue, amostras microbiológicas de *Salmonella* spp. e Influenza Aviária e desparasitação. Depois da época de cria foram avaliadas 2 Águias cobreiras (*Circaetus gallicus*), 17 Corujas das torres (*Tyto alba*), 8 Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*) e 5 Milhafres reais (*Milvus milvus*) e antes da época de cria avaliaram-se cerca de 147 Peneireiros das torres (*Falco naumanni*) e 2 Abutres negros (*Aegypius monachus*).

Figura 5. Exame clínico de um Abutre negro (*Aegypius monachus*).



No decorrer da sua transferência ao GREFA, foram ainda realizadas avaliações completas de chegada ao centro a 26 Grifos (*Gyps fulvus*).

A par do trabalho desempenhado na enfermaria, procedeu-se ainda ao processamento em laboratório das amostras recolhidas. Realizaram-se análises coprológicas directas, de flutuação e sedimentação; na hematologia foram realizadas inúmeras provas de microhematócrito, preparados e corados esfregaços, realizadas contagens de células sanguíneas totais e diferenciais bem como avaliação da presença de hemoparasitas; foram também realizadas algumas análises citológicas.

No laboratório de microbiologia foram processadas maioritariamente amostras fecais obtidas a partir da cloaca para pesquisa de *Salmonella* spp..

No período de estágio descrito foram realizadas no GREFA cerca de 111 necrópsias a aves, mamíferos e répteis. A aluna assistiu e participou em inúmeras, e teve a oportunidade de contactar com as mais variadas anatomias, realizando os respectivos relatórios de necrópsia. Durante as necrópsias foram ainda recolhidas amostras, tanto de tecidos são como alterados, para anatomia patológica, as quais a aluna teve também oportunidade de processar e observar no laboratório de anatomia patológica.

Para além de todo o trabalho desempenhado no hospital, a aluna teve ainda a oportunidade de participar e colaborar com o departamento de reabilitação, com os projectos de cria em cativeiro, projecto de colocação de caixas ninho para reintrodução do Peneireiro das torres (*Falco naumanni*) e ainda participar em resgates de animais com a equipa de resgate do GREFA.

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

2.1. Introdução

A definição de “arte” inclui o uso da ingenuidade humana, talento, habilidade e astúcia para adaptar o que a natureza disponibiliza e colocá-lo a seu dispor. Por este prisma, a Medicina Veterinária aplicada à fauna selvagem e sua conservação é sem dúvida uma forma de arte e, talvez uma das mais elaboradas e exigentes (Miller, 2010).

Os veterinários de fauna selvagem são os derradeiros generalistas, aplicando um vasto leque de informação e conhecimentos para proteger ou restaurar a sanidade dos indivíduos afectados (Miller, 2010). Os desafios que estes aportam são constantes em todos os aspectos, exigindo do clínico uma atenção permanente para com as suas necessidades nutricionais e comportamentais fundamentais, consciência da biologia básica das espécies, conhecimento de formas de manipulação e alojamento e, principalmente sensibilidade e prontidão para identificar e solucionar problemas de saúde, à medida que estes possam surgir. As problemáticas novas e diárias são intermináveis, bem como a busca incansável e desafiante das suas soluções, que se traduz numa curva de aprendizagem que não apresenta término (Schotman, 2006).

São pois, a variabilidade inerente, dificuldade, espontaneidade e gravidade dos quadros clínicos dos animais com que se depara a clínica de fauna selvagem que a tornam num tipo de “arte” tão peculiar que, no final se torna apaixonante para quem a pratica e não busca recompensas em lucros, mas que as encontra na satisfação que representa ser capaz de devolver ao seu habitat natural um animal selvagem recuperado (Schotman, 2006).

Um conservacionista é um indivíduo que defende a preservação planeada dos recursos naturais. As raízes da conservação podem ser encontradas nos primeiros homens, que viviam num tempo onde não havia escassez de comida ou terra. Acreditava-se que o sucesso de um caçador não residia na sua destreza, mas sim na habilidade em mostrar um grande respeito pela sua presa, o que eventualmente a levaria até ele. Em retorno, o caçador faria uma cerimónia, libertando o espírito do animal para que este voltasse a fazer parte das manadas de antílopes ou dos cardumes de peixes. Esta doutrina foi caracterizada por alguns como o princípio da religião e talvez fosse também o primórdio da conservação.

Para os primeiros Americanos Nativos, animais e Homem eram família, não admitiam diferenças entre eles e acreditavam que cada ser tinha conhecimentos para partilhar. Os seus conceitos de unidade com a Natureza, humildade, respeito para com ela e desejo de cuidar e proteger o seu irmão e irmã, tornaram-se ideias fundamentais para a filosofia e dignificação da conservação contemporânea (Groskin, 1994).

“A conservação é um estado de harmonia entre o homem e a terra. E a terra significa todas as coisas sobre, acima ou dentro dela” (Leopold, 1993). É em ideias como esta, de Aldo Leopold (1887-1948), considerado o pai da ecologia da fauna selvagem e o conservacionista com mais influência do século XX, que se expressa a filosofia da conservação moderna (Groskin, 1994). Uma das melhores analogias que se pode estabelecer entre as suas palavras e a definição de conservacionista será talvez a de que, cada um de nós tem a oportunidade de plantar ou derrubar uma árvore e que isso apenas dependerá do instrumento da nossa acção: uma pá ou um machado (Leopold, 1949). O conservacionista é por isso o indivíduo que em todos os momentos tem plena consciência dos seus actos, sabendo que com cada um deles poderá construir ou destruir o que o rodeia (Saggese, 2007).

O Médico Veterinário de fauna selvagem, nas suas várias facetas, não pode deixar de ser, nem deve esquecer o seu papel enquanto um conservacionista, enquanto um protector da biodiversidade. As faculdades de Medicina Veterinária capacitam os seus estudantes numa miríade de áreas do conhecimento científico, o que converte o Médico Veterinário num aliado importante e protagonista essencial da medicina da conservação (Saggese, 2007).

É importante que esta filosofia de conservação seja integrada no dia a dia da clínica de fauna selvagem e principalmente, quando a maioria dos pacientes pertencem ao grupo faunístico das aves, tal como acontece no Hospital de Fauna Selvagem do GREFA (cerca de 80% de aves num total médio de entradas de 3000 animais por ano).

A classe das Aves é composta por cerca de 10.000 espécies distintas, constituindo um dos mais importantes pilares da biodiversidade. São encontradas em quase todos os ecossistemas, mas cada espécie é única na sua ecologia e distribuição.

Estes animais fornecem numerosas e valiosas informações acerca do ambiente natural que ocupam e representam, tendo sido desde sempre uma mais valia para o ser humano, tanto como inspiração, imagética e companhia (BirdLife International, 2008). Primariamente, o Homem relacionou-se com as aves como um consumidor, utilizando-as como fonte de alimento e logo como objecto de actividades recreativas e símbolos religiosos (Groskin, 1994). Um dos mais antigos registos de deificação a uma ave e um dos memoriais ao papel desempenhado pelas aves na cultura e tradição humanas é Horus, o deus falcão, não apenas sagrado para os antigos Egípcios mas, mais tarde também se tornaria um deus Grego (Cooper, 2002).

Indiscutivelmente, é extremamente difícil dissociar a utilização das aves de um grande conjunto de actividades humanas, já que cerca de metade de todas as espécies aviárias são usadas directamente pelo Homem. Mais de um terço das espécies são mantidas como animais de estimação e aproximadamente uma em cada sete são caçadas para alimento. É difícil saber quantas aves, enquanto indivíduos, são utilizadas, embora se estime que entre

meio bilhão e um bilhão de aves canoras sejam caçadas cada ano, apenas na Europa, para desporto e alimento (BirdLife International, 2008).

É lamentável pensar que, das longas relações entre Homem e aves, o derradeiro resultado tenha sido uma destruição brutal destes animais e dos seus habitats por todo o mundo. As taxas de extinção apresentam-se extraordinariamente elevadas e, sem acções concertadas, continuarão a subir. No total, 1211 espécies de aves (12% do total) estão globalmente ameaçadas e destas, 179 estão agora criticamente ameaçadas, ou seja, encaram uma extinção iminente (BirdLife International, 2008).

Tendo em consideração todas estas questões, o Médico Veterinário deverá ser capaz de definir a sua ética de conservação e actuar como uma medida local de abordagem a estes problemas. Embora por um longo tempo a medicina de aves tenha vindo a ser uma parte integrante da Medicina Veterinária, apenas poucos profissionais têm como pacientes indivíduos de espécies aviárias (Groskin, 1994). Tal mentalidade tem evoluído positivamente, pelo referido crescente interesse do público em manter aves como animais de estimação e pelo facto destas se apresentarem cada vez mais frequentemente à clínica de animais exóticos. Efectivamente, nas últimas décadas, o espectro de espécies a que se dirige a Medicina Veterinária tem sofrido um acréscimo notório, com particular ênfase nas espécies de vertebrados silvestres (Beldomenico, 2006), nomeadamente as aves, permitindo ainda mais espaço para progresso e possibilidade de actuação directa na luta contra a extinção de muitas espécies. O Veterinário destes animais é capaz de observar na sua prática diária, aquilo que os ecologistas no campo apenas têm tido a possibilidade de teorizar, e tais observações são o elo ideal entre este, avicultores, naturalistas, biólogos e o próprio público, para ser possível continuar a melhorar o seu bem-estar, recuperação e estatuto de conservação (Groskin, 1994).

2.2. Oftalmologia ornitológica

Ao longo dos últimos anos, com o enraizamento do conceito de protecção e conservação de aves de vida livre e de cativeiro, e o estabelecimento de metodologias para a protecção dos ecossistemas nas investigações relacionadas com estas espécies, a Oftalmologia Aviária passou a ser considerada uma especialidade de grande relevância dentro da clínica veterinária (Piñeiro & Bert, 2011).

O desenvolvimento de um sistema visual tão eficiente proporcionou às aves e, principalmente às aves de rapina, uma importantíssima vantagem evolutiva sobre outras espécies animais mas, por outro lado, tornou-as extremamente sensíveis às afecções oftalmológicas. Simples alterações a este nível podem levar à sua incapacidade de sobrevivência em vida livre, por exemplo, ao impossibilitar que realizem um voo

correctamente direccionado e, limitar a sua qualidade de vida enquanto se encontrem em cativeiro (Piñeiro & Bert, 2011).

Vários estudos têm vindo a comprovar a importância do sistema visual na subsistência destes animais, abordando também questões relacionadas com as diferenças de visão entre as aves e outras espécies animais, entre as diferentes espécies de aves (Piñeiro & Bert, 2011) e, talvez ainda mais importante, as diferenças de morfologia entre os sistemas visuais de aves e mamíferos, que apesar de aparentemente muito significativas, mascaram afinal um grau de semelhança extraordinária (Zeigler & Bischof, 1993).

Não é apenas a Medicina Veterinária que reconhece o valor do estudo do sistema visual das aves. É inestimável o contributo que estes animais podem dar ao crescimento da oftalmologia comparada, nomeadamente com o sistema visual do ser humano. Embora seja sensato pensar que os modelos mais indicados para comparação com o sistema visual do Homem possam ser os mamíferos, tome-se por exemplo o caso do gato, um dos animais correntemente usados como modelo para patologia ocular humana. Este é um animal com hábitos predominantemente nocturnos, afoveado, com uma peculiar visão a cores e uma certa dificuldade em reportar-nos as suas percepções visuais. Por outro lado, tal como o Homem, a maioria das espécies de aves são diurnas, apresentam muitas vezes não uma, mas duas fóveas e o seu mundo sensorial é muito mais “visual” (McFadden, 1993). Seria importante considerar estes aspectos no desenvolvimento de novos modelos e considerar se animais como cães e gatos, serão os melhores indivíduos para estabelecer estudos comparados, ou se simplesmente, por possuírem hoje em dia um elevado nível de monitorização médica, secundário apenas ao do Homem, permitam uma maior identificação de patologias que em outros animais (Narfström, Deckman & Menotti-Raymond, 2011). Com estes aspectos em mente, se assumirmos (com base em inúmeras provas), que o sistema visual dos amniótas evoluiu apenas uma vez (Shimizu & Karten, 1993), o sistema visual das aves demonstra ser um modelo notável para explorar a sua morfologia, os seus modos de operação e a surpreendente complexidade das suas funções, fornecendo um amplo campo de estudo que possui ainda muitas lacunas, que podem e devem ser preenchidas.

Na clínica de aves selvagens existem ainda muitas oportunidades para trabalhos de investigação que permitam melhorar cada vez mais o suporte médico dado a estes animais, ajudando à interpretação da exploração ocular e obtenção de diagnósticos apropriados. Com base nisto, um dos melhores pontos de partida para levar a cabo um estudo de investigação nesta área é, sem dúvida, o pilar do diagnóstico oftalmológico, ou seja, o exame oftalmológico. Tal como em seres humanos ou nos animais domésticos como o cão e o gato, a base da oftalmologia é o exame visual que, para todos, segue um critério bastante similar. Nas aves este exame é análogo, apenas tendo em conta algumas das peculiaridades da anatomia e fisiologia da visão desta classe (Williams, 1994).

A avaliação oftalmológica destes animais demonstra ser uma das partes mais importantes do seu exame físico aquando da entrada num centro de recuperação e, mais ainda quando falamos em aves de rapina, tendo em conta que uma multiplicidade de lesões são causas comuns de debilidade nestas aves e muitos dos animais vitimados e admitidos nos centros de recuperação têm frequentemente complicações oculares (Murphy, Kern, McKeever, McKeever & MacCoy, 1982).

O conhecimento da condição oftalmológica destes animais irá determinar em grande parte o seu potencial de reabilitação, recuperação e posterior libertação. Determinar que indivíduos com dano ocular são candidatos aptos para libertação é um desafio complicado para veterinários e biólogos. Primeiro, fazer uma avaliação correcta da visão em aves de rapina é difícil, especialmente quando se considera o alto grau de acuidade visual necessário para que uma ave destas sobreviva na natureza. Segundo, entre cada espécie de ave de rapina, existem diferenças variáveis no que diz respeito às características de predação, nicho ecológico, uso da visão para caça, e utilização de outros sentidos, os quais podem ser afectados pela diminuição da capacidade visual. Outros factores tais como a idade do animal, doenças sistémicas concorrentes e outras lesões existentes devem ser incluídas na decisão para libertação ou não, uma vez que podem não justificar a progressão do tratamento oftalmológico (Pauli, Klauss, Diehl & Redig, 2007).

Considerando todos estes aspectos da visão aviária, o objectivo do presente trabalho é o de contribuir para a optimização da qualidade do cuidado oftalmológico fornecido a estes animais, através da utilização de uma importante técnica complementar de diagnóstico que é a tonometria, nomeadamente a tonometria de aplanamento. Este método indirecto de medição da pressão intraocular (PIO), deve ser um passo obrigatório do exame oftalmológico ornitológico pois permite uma detecção precoce de flutuações patológicas na PIO, necessária para estabelecer atempadamente um tratamento eficaz (Korbel & Braun, 1999; Maggs, 2008). Para além disto, o conhecimento de valores fisiológicos de PIO nas várias espécies representa uma grande contribuição para a progressão de possíveis estudos de glaucoma humano em modelos animais.

2.3. A visão das aves – revisão anatômica e funcional

Existem evidências que provam que a falcoaria já era familiar aos povos da China, Índia, Assíria, Suméria, e de outras províncias da Babilónia, Egipto e Pérsia, milhares de anos antes de Roma existir. Já nesta altura, o Homem se tinha apercebido da extraordinária acuidade visual das aves de rapina, tentando tirar proveito dela numa altura em que eram rudimentares as armas de caça e onde a única forma de obter aves que estavam fora do alcance das suas flechas, era utilizando a destreza destes animais (Wood & Fyfe, 1961). Actualmente, os investigadores não se contentam apenas com o conhecimento empírico e, são capazes de fornecer até certo ponto, explicações fisiológicas para o que observavam os anciãos.

Efectivamente, de todos os sentidos das aves, a visão é de longe o mais importante (Orosz, 2007). Do conjunto de vertebrados, as aves são uma das classes mais dependente da visão e a frase de Rochon-Duvigneaud, 1943 (citado por Güntürkün, 2000), de que “um pombo não é nada mais que dois olhos com asas”, é provavelmente válida para a maioria das espécies ornitológicas. Uma alta acuidade visual não é apenas necessária para encontrar e adquirir alimento, mas também para movimentação e orientação no habitat, defesa de território e zonas de nidificação, identificação de conspecíficos e potenciais companheiros, bem como para eficazmente identificar e escapar de predadores (Hodos, 1993; Jones, Pierce & Ward, 2007).

Os sistemas visuais destes animais evoluíram independentemente da linha dos primatas, e apresentam um grau de sofisticação e complexidade para o qual, a vários níveis, a nossa própria experiência visual nos fornece uma apreciação bastante insignificante (Zeigler & Bischof, 1993). O esquema básico do sistema visual das aves é semelhante, até dado ponto, ao das outras classes de vertebrados no que toca a certas limitações de processamento óptico e neuronal, inerentes a um sistema visual biológico. Não existe uma superioridade geral quando comparado, por exemplo, com o dos mamíferos mas, no entanto, devido à grande variedade de habitats por que se distribuem as aves, desde terra, a água e a ar, abundam variações subtis nestes sistemas visuais (McFadden, 1993) bem como um elevado grau de especialização como adaptação às condições em que vivem.

A extraordinária dependência das aves no seu sentido da visão evidencia-se na peculiaridade de que o diâmetro transversal dos seus nervos ópticos é superior ao diâmetro da sua medula espinhal cervical (Breazile & Kuenzel, 1993; Orosz, 1996). Tal indica que, para as aves, existe muita mais informação sobre o mundo visual a ser transmitida ao cérebro do que em qualquer outro animal. O nervo óptico representa uma grande colecção de axónios mielinizados da camada de células ganglionares da retina. Em comparação, os humanos são primatas altamente visuais mas têm apenas 40% do número de axónios retinianos por nervo óptico quando comparados com pombos ou pintos (Binggeli & Paule,

1969, citados por Orosz, 1996). As aves de rapina têm um número de neurónios por nervo óptico ainda maior uma vez que a sua acuidade visual supera a de qualquer outro ser vivo (Fox, Lehmkuhle & Westendorf, 1976) sendo que, os nervos ópticos encontram-se mais desenvolvidos nos falconiformes e menos nas espécies nocturnas como as corujas e mochos (Orosz, 1996).

2.3.1. Globo ocular

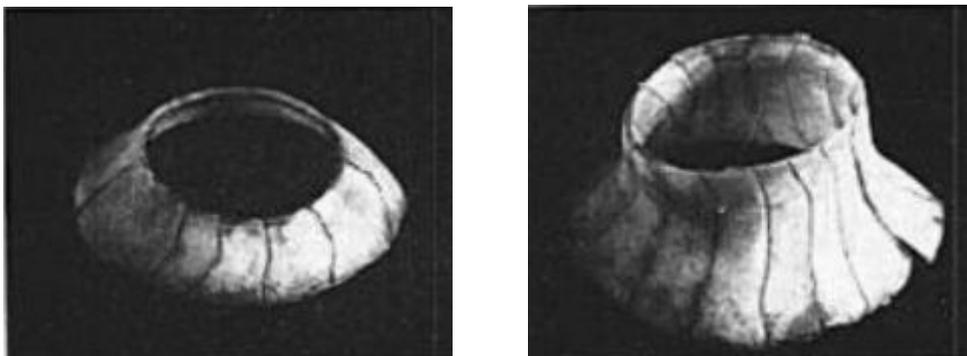
O tamanho relativo de um órgão normalmente reflecte a sua significância funcional (Garamszegi, Møller & Erritzøe, 2002) e, no caso dos olhos das aves esta afirmação é totalmente verdadeira uma vez que, o factor primário que reflecte a suprema importância da visão nestes animais é o grande tamanho do seu globo ocular. Este aspecto passa, na maior parte das vezes, despercebido, pois o que se demonstra visível na sua fenda palpebral circular é apenas a córnea (Walls, 1942). Os olhos das aves representam um volume consideravelmente elevado do seu crânio e são bastante grandes em relação ao tamanho do cérebro e do corpo. Aproximadamente 50% ou mais do seu volume craniano é ocupado pelo olho, órgão que em humanos ocupa menos de 5% deste volume. Alguns falcões e corujas, cujo tamanho corporal é uma pequena parte do corpo humano, possuem olhos do mesmo tamanho ou, inclusive maiores, que os nossos. A Coruja do mato (*Strix aluco*), com apenas 450 g de peso corporal possui um olho cujo comprimento axial é aproximadamente 4,5 mm superior ao do olho humano. Entre os vertebrados terrestres, a Avestruz (*Struthio camelus*), é o que possui o maior globo ocular, medindo 50 mm de comprimento axial (Walls, 1942; Martin, 1993).

Opticamente, o parâmetro mais importante associado ao tamanho do globo ocular é a distância focal (Martin, 1993). É através do incremento da distância focal de um olho que se pode maximizar a acuidade visual; a imagem óptica será distribuída por uma superfície retiniana maior e por isso sobre um maior número de fotorreceptores. Consequentemente, a quantidade de detalhe que poderá ser interpretada numa dada densidade de receptores irá aumentar (Güntürkün, 2000).

O tamanho do globo ocular não só influi na maior ou menor acuidade visual como também está constatado que, quanto maior for a distância focal de um olho e portanto, o seu tamanho, maior capacidade tem este órgão de funcionar adequadamente através de uma gama completa de níveis de luz que ocorram na natureza (Martin, 1982). Olhos grandes possuem fotorreceptores com bastante espaço entre si que, ao receberem estímulos de luz canalizam a informação para as células bipolares da retina, permitindo com a progressiva diminuição de luminosidade, uma optimização do seu aproveitamento (Martin, 1993).

Para além das variações de tamanho que apresenta o globo ocular, ele também varia extraordinariamente, de espécie para espécie, na sua forma. No entanto, um aspecto comum é que, na maioria dos casos, a forma quase hemisférica da região posterior do globo ocular é desproporcionalmente maior que o segmento anterior, estando os dois segmentos unidos por uma região intermédia que se baseia em 10 a 18 ossículos esclerais (sendo que a maioria das espécies possui entre 14 e 15) (Curtis & Miller, 1938; Jones *et al.*, 2007). Embora as aves e os répteis possuam estas estruturas, acredita-se que elas tenham tido a sua origem nos peixes e tenham sido eventualmente passadas aos anfíbios (Samuelson, 1999). Estes ossículos determinam a forma do olho, servem como ponto de fixação para a origem dos músculos estriados ciliares e, garantem protecção ao aspecto lateral do globo que se situa, na sua grande parte, fora de qualquer tipo de protecção óssea da órbita (Wyganski-Jaffe *et al.*, 2007) (Fig.6).

Figura 6. Anel esclerótico de *Accipitriforme* e *Strigiforme* (adaptado de Curtis & Miller, 1938).



Os globos oculares das aves apresentam três formas básicas: plana, globosa e tubular, sendo que nenhuma se aproxima da forma tipicamente esférica do olho dos mamíferos (Walls, 1942). A principal diferença entre estas categorias reside na razão entre os diâmetros axial e equatorial de cada globo ocular (Martin, 1993).

A forma plana é a predominante, existindo na grande maioria das aves. O globo ocular com esta forma possui um eixo anteroposterior curto, uma zona intermédia (ciliar) plana ou côncava e uma córnea convexa (Jones *et al.*, 2007). Este tipo é o que está também presente nos lagartos (Walls, 1942) e é típico da maioria das aves diurnas de cabeça estreita como é exemplo o Cisne vulgar (*Cygnus olor*) (Jones *et al.*, 2007).

Nas aves diurnas que necessitam uma alta resolução a grandes distâncias (p.e. aves de rapina diurnas, insectívoras, corvos) a razão dos diâmetros do globo ocular atinge a unidade, admitindo o olho uma forma globosa, na qual a zona ciliar se estende além do segmento posterior mantendo-se, no entanto, côncava (Bayón, Almela & Talavera., 2007).

O terceiro tipo de forma de globo ocular é a tubulosa. Neste, o segmento intermédio côncavo alonga-se no sentido anteroposterior de tal modo que forma um tubo, antes de se juntar ao segmento posterior num ângulo agudo (Bayón *et al.*, 2007). Como a forma não é

de todo, independente do tamanho do olho, este tipo é normalmente encontrado nas espécies que detêm os maiores globos oculares, como é o caso das aves de rapina nocturnas (corujas, bufos) e algumas águias (*Accipitriformes*) (Martin, 1993) (Fig.7).

Figura 7. Crânio dissecado de exemplar de Bufo real (*Bubo bubo*), evidenciando o desenvolvido olho do tipo tubular e seu anel esclerótico.



Embora as diferentes formas dos globos oculares possam estar em parte relacionadas com o desempenho visual (como já foi referido, indirectamente através do tamanho do olho e retina), elas podem simplesmente reflectir mais uma adaptação de animais onde o factor peso é extremamente importante. Estas três formas podem simplesmente espelhar a solução para o problema que representa a colocação de um objecto de grandes dimensões, pesado e repleto de líquido dentro de um crânio relativamente pequeno como é o das aves e, que se localiza numa extremidade do corpo, onde pode influenciar o equilíbrio durante o voo. As formas plana e tubular podem ser vistas como esferas com recortes de secções, para facilitar tanto o encaixe no crânio como para redução de peso (Martin, 1993).

2.3.2. Órbita

A órbita das aves é formada pelos ossos frontal, prefrontal, esfenóide, etmóide, palatino, ossos quadrados e o arco jugal (percursor do arco zigomático) (O'Malley, 2005; Jones *et al.*, 2007). Em quase todas as aves a base da órbita não é óssea, consistindo principalmente em músculos mandibulares (Baumel & Witmer, 1993).

Na maioria das aves de rapina diurnas (p.e. águias, milhafres, falcões), existe uma proeminente crista ocular (Cooper, 2002) (Fig. 8), formada por uma crista supraciliar e pelas penas da região, prolongando-se por cima e à frente do olho. Esta estrutura funciona como protecção contra o brilho intenso resultante da passagem dos raios solares pela íris em direcção à retina, o que causaria reflexo palpebral e, como protecção física contra o vento, poeira e outros detritos (Jones *et al.*, 2007).

Figura 8. Águia açor africana (*Hieraaetus spilogaster*). Pormenor da crista ocular.



Algumas espécies de rapinas, como por exemplo o Falcão peregrino (*Falco peregrinus*) ou o Peneireiro americano (*Falco sparverius*) possuem faixas distintas de penas escuras à frente e debaixo dos olhos, que parecem também contribuir para a diminuição do brilho do sol, facilitando as actividades de busca e captura de presas de movimentos rápidos (Jones *et al.*, 2007).

Como os olhos das aves são tão grandes e possuem um encaixe tão justo na órbita, os músculos extraoculares encontram-se reduzidos a bandas finas (Evans & Martin, 1993). São eles os músculos rectos medial, lateral, dorsal, ventral e músculos oblíquos dorsal e ventral. O músculo retractor do bulbo não existe nestes animais sendo substituído pelos músculos quadrado e piramidal, cuja função é a movimentação da membrana nictitante (Jones *et al.*, 2007).

2.3.3. Pálpebras

As aves possuem uma pálpebra superior, uma inferior e uma terceira pálpebra (Bayón *et al.*, 2007). A pálpebra superior é curta e espessa, enquanto que a inferior é fina, mais comprida e mais móvel, porque contém um bordo tarsal fibroelástico sendo responsável pelo encerramento da fenda palpebral. As pálpebras não possuem glândulas de Meibomian e podem ou não ter penas modificadas, chamadas filoplumas (O'Malley, 2005), que funcionam como protecção ou receptores tácteis (Jones *et al.*, 2007).

Depois da eclosão, as pálpebras estão bem desenvolvidas e a fenda palpebral encontra-se aberta em aves nidífugas mas não nas espécies nidícolas (Bayón *et al.*, 2007) onde os olhos abrem normalmente, entre as 2 e as 4 semanas dependendo da espécie (O'Malley, 2005) (Fig.9).

Figura 9. Cria de Peneireiro das torres (*Falco naumanni*) com 2 dias de idade e fenda palpebral encerrada.



A terceira pálpebra ou membrana nictitante localiza-se no quadrante dorsonasal do saco conjuntival. Os seus movimentos sobre a superfície da córnea são rápidos excepto nos *Strigiformes* (Evans & Martin, 1993). Estes movimentos vêm substituir a função das outras pálpebras no pestanejar, sendo que esta membrana pode atravessar a córnea 15 a 20 vezes por minuto, mesmo estando as outras pálpebras encerradas (Gum, Gelatt & Ofri, 1999). Encontra-se coberta por uma camada papilar de epitélio e serve para proteger, humeder e limpar a córnea (Jones *et al.*, 2007) (Fig.10).

Figura 10. Águia açor africana (*Hieraaetus spilogaster*). Movimento da membrana nictitante em resposta ao estímulo do reflexo corneal.



A córnea é mantida húmida e nutrida não apenas pela glândula da membrana nictitante mas também pelas secreções das glândulas lacrimais e de Harder. Nas aves, a glândula da membrana nictitante encontra-se infiltrada por células plasmáticas derivadas da bolsa de Fabricius. Estas células produzem um anticorpo específico como resposta à estimulação antigénica do olho, ajudando assim à sua protecção contra a invasão microbiana (Jones *et al.*, 2007). A glândula lacrimal, que varia em tamanho entre espécies (Evans & Martin, 1993), está localizada numa posição infratemporal ao globo. Esta glândula está, no entanto, ausente em pombos e corujas (Kern, 1997).

A glândula de Harder é a maior de todas as glândulas e localiza-se em posição craniomedial em relação à órbita, perto da base da membrana nictitante (O'Malley, 2005). Para além da função de lubrificação do olho e da membrana nictitante, a glândula de Harder é também origem de feromonas, factores de crescimento (Altunay & Kozlu, 2004) e desempenha, juntamente com o tecido linfóide associado à conjuntiva, um papel importante na defesa humoral da superfície ocular (Bayón *et al.*, 2007).

2.3.4. Túnica fibrosa (córnea e esclera)

À semelhança do que acontece com os outros vertebrados, a córnea das aves é transparente, avascular e faz parte da porção anterior da túnica fibrosa do globo ocular. As suas funções incluem suportar o conteúdo intraocular, refração da luz (devido à sua curvatura) e transmissão da luz (graças à sua transparência) (Samuelson, 1999). Em olhos de forma globosa ou tubular, a referida curvatura é ainda mais acentuada, apresentando a córnea uma área relativamente pequena quando comparada com a do resto do globo ocular. A córnea das aves é formada por cinco camadas mas é consideravelmente mais fina que a de outras espécies (Evans & Martin, 1993) e a sua espessura é bastante variável dentro da classe. Com o recurso a paquimetria foram determinadas espessuras da córnea de diferentes aves de rapina, com obtenção de valores de 141,21 µm para o Mocho galego (*Athene noctua*), 155,82 µm para o Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*) evoluindo até valores consideravelmente mais elevados para águias, como 578,42 µm para a Águia calçada (*Hieraaetus pennatus*) e 627,58 µm para a Águia de Bonelli (*Hieraaetus fasciatus*) (Bayón *et al.*, 2006).

À semelhança do que acontece no cão (Montiani-Ferreira *et al.*, 2003) e no gato (Moodie *et al.*, 2001), também nas aves a espessura corneana sofre alterações com a idade. Em galinhas, após uma diminuição nos primeiros dias de idade, a espessura da córnea sofre posteriormente um aumento progressivo com a maturidade do animal até aos 70 dias de idade, depois dos quais se mantém no valor relativamente constante de 242 µm (Montiani-Ferreira, Cardoso & Petersen-Jones, 2004).

A camada mais externa da córnea é formada por uma camada de células basais única, uma camada com duas ou três fileiras de células poliédricas, e uma camada de células escamosas não queratinizadas com cerca de três a quatro células de espessura (Samuelson, 1999).

A segunda camada é uma lâmina basal extremamente fina, acelular e superficial, antigamente designada como membrana de Bowman (Evans & Martin, 1993). Esta camada não é vista na maioria dos animais e, nas córneas de aves e humanos, é considerada como parte do estroma (Samuelson, 1999). O estroma corneano, a terceira camada, é responsável por 90% da espessura da córnea (Evans & Martin, 1993) e consiste em lamelas

de tecido fibroso transparentes que se depositam por estratos e se podem facilmente separar por planos (Samuelson, 1999). A quarta camada, a membrana limitante posterior, ou membrana de Descemet, mede 2 a 2,5 μm de espessura na Águia real (*Aquila chrysaetos*) adulta e finalmente o endotélio que mede cerca de 6 μm de espessura, sendo constituído por uma fila única de células achatadas (Murphy & Dubielzig, 1993, citados por Samuelson, 1999).

A córnea é formada por 75 a 85% de água e é relativamente desidratada quando comparada com outros tecidos. Este estado de desidratação designa-se deturgescência e é função das camadas epitelial e endotelial, que actuam como uma barreira hidrofóbica e uma bomba, respectivamente. A destruição de uma destas camadas leva, inevitavelmente, ao edema da córnea, provocado pelo aumento de permeabilidade e consequente influxo de água (Samuelson, 1999)..

A componente posterior da túnica fibrosa do olho é a esclera, a qual contém nas aves, para além de tecido conjuntivo denso, uma cartilagem hialina. Esta cartilagem estende-se até ao anel de ossículos esclerais já anteriormente descrito (Samuelson, 1999).

2.3.5. Lente

A lente das aves possui muitas variações interespecíficas de tamanho e forma sendo, por exemplo, quase esférica nas aves nocturnas, e com o seu aspecto anterior plano nas espécies diurnas (Bayón *et al.*, 2007). Tais particularidades reflectem diferenças no seu poder refractivo, limite de acomodação e campos visuais do olho (Brooks, 1997).

Devido ao ritmo mais baixo de desenvolvimento das fibras lenticulares em comparação ao dos mamíferos, a lente das aves é tipicamente mais branda e maleável, características necessárias para permitir uma rápida acomodação (Jones *et al.*, 2007). Ela encontra-se rodeada por uma cápsula elástica, a qual funciona como uma membrana semipermeável que isola as suas proteínas do resto do organismo (Brooks, 1997).

Uma das grandes variações da lente das aves para a dos mamíferos é a existência de uma almofada anelar (*pulvinus anularis lentis*), que rodeia o seu corpo central (Evans & Martin, 1993). Esta almofada encontra-se directamente sob a cápsula, estando ausente no centro óptico (Brooks, 1997), e consiste de fibras lenticulares aumentadas e dispostas radialmente, em vez de concentricamente (Samuelson, 1999). Entre o corpo central da lente e a almofada anelar existe uma câmara repleta de fluído (*vesicula lentis*) que os separa e, poderá servir como um arranjo hidrostático, para a transmissão de pressão desde os músculos ciliares até ao corpo central, facilitando a acomodação (Evans & Martin, 1993).

A almofada anelar não tem um papel directo na visão mas é um importante componente do mecanismo de acomodação das aves. Ela não se encontra firmemente ligada ao corpo da lente e, por isso, durante a acomodação, pode deslizar sobre ele para acelerar as mudanças

na sua forma, curvatura e poder óptico. O seu tamanho está normalmente relacionado com o limite de acomodação da lente nos diferentes nichos ecológicos sendo maior em aves com um maior intervalo de acomodação (Brooks, 1997) como sejam as aves mergulhadoras (Sivak, Hildebrand & Lebert, 1985) e aves de rapina diurnas (Glasser, Pardue, Andison & Sivak, 1997).

A lente é mantida na sua posição graças ao corpo vítreo, fibras zonulares que ligam os processos ciliares directamente à almofada anelar e pelo suporte da íris (Jones *et al.*, 2007).

2.3.6. Íris

Com origem na porção anterior do corpo ciliar, a íris estende-se centralmente e forma um diafragma anterior à lente, criando assim uma câmara anterior e uma posterior que comunicam através da pupila (Jones *et al.*, 2007).

A íris, formada por numerosos vasos sanguíneos, fibroblastos, nervos, colagénio, células epiteliais e uma extensa componente muscular, regula a quantidade de luz que entra no segmento posterior do olho, através da sua midríase ou miose. As cores da íris variando extraordinariamente entre indivíduos e espécies dependendo da quantidade de pigmentos, tipo de pigmentos e do grau de vascularização (Samuelson, 1999), variam também com a idade, dieta (Gum *et al.*, 1999) e sexo (Bortolotti, Smits & Bird, 2003). Em 1987, Oliphant demonstrou que os pigmentos dominantes nos olhos das aves são as purinas e as pteridinas. No entanto, hoje em dia, daquilo que se conhece da complexidade da pigmentação da íris sabe-se que os melanóforos são os responsáveis pela cor castanha, enquanto que outras cores podem ser produzidas por estruturas como lípidos incolores, carotenóides, fibras de colagénio e por hemoglobina em seios venosos aumentados (Bortolotti *et al.*, 2003).

Combinações de purinas/pteridinas e carotenóides também são comuns. Em algumas espécies de columbiformes, a cor da íris também é influenciada pela presença de células refractivas (iridócitos) que formam um tapete lúcido da íris e são responsáveis por rápidas mudanças de cor da mesma (Jones *et al.*, 2007).

As alterações de tamanho e forma da pupila das aves podem ser bastante extensas e muito mais rápidas que em mamíferos. (King & McLelland, 1984, citado por Jones *et al.*, 2007).

Existem cinco componentes musculares sendo três circunferenciais e dois radiais, que controlam o tamanho da pupila e foram identificados no Bufo da Virgínia (*Bubo virginianus*). Circunferencialmente, as componentes contrácteis que são as principais constrictoras da íris consistem de um mioepitélio, uma banda anular de músculo liso que garante a permanência da miose e uma banda mais larga de músculo estriado, que é a principal constrictora da íris. A componente contráctil radial facilita a dilatação da íris e é formada por um mioepitélio bem

desenvolvido e algumas fibras estriadas dispersas (Oliphant, Johnson, Murphy & Howland, 1983).

O reflexo pupilar consensual está ausente devido ao completo cruzamento das fibras nervosas no quiasma óptico. Contudo, uma fonte de luz demasiado forte pode atravessar as camadas oculares posteriores e o fino septo interorbital, estimulando a retina oposta (Gum *et al.*, 1999).

Como um resultado destas diferenças, a íris das aves não responde aos agentes midriáticos convencionais usados em mamíferos, tais como a atropina e a fenilefrina (Loerzel, Smith, Howe & Samuelson, 2002). Assim sendo, um agente bloqueante muscular, como por exemplo, o vecurónio ou a D-tubocurarina, poderá ser necessário para iniciar a dilatação pupilar e facilitar a exploração da retina (Korbel, Reese & Hegner, 1998; Gum *et al.*, 1999) (Fig. 11). Estes fármacos devem, no entanto, ser usados sempre tendo em consideração as enormes idiosincrasias intra-específicas e com extrema precaução em espécies cuja sensibilidade não é conhecida. Para além destes fármacos também a anestesia por perfusão dos sacos aéreos é um bom método para permitir uma exploração oftalmoscópica mais detalhada ou, realizar uma intervenção cirúrgica oftálmica, com um animal melhor contido (Korbel, 1998).

Figura 11. Administração intracamerar de D-tubocurarina num Bufo real (*Bufo bufo*) para obtenção de midríase.



À semelhança do que acontece com o Homem, também em pombos (*Columba livia*) está documentada a ocorrência de miose senil, uma diminuição progressiva no diâmetro máximo da pupila que se desenvolve com a idade (Hodos, Miller & Fite, 1991).

2.3.7. Corpo ciliar

O corpo ciliar é uma extensão da úvea e é contíguo anteriormente com a coróide sob a forma de uma protuberância anular. Externamente encontra-se ligado ao anel esclerótico (Korbel *et al.*, 1998).

O seu aspecto interno é cruzado por numerosas cristas as quais irradiam numa direcção meridional achatando-se posteriormente (*pars plana*), e formando a *corona ciliaris (pars plicata)* anteriormente. A *pars plicata* não é nem mais nem menos que um anel de processos ciliares que, ao contrário dos mamíferos, são numerosos, irregulares e parcialmente fundidos (Evans & Martin, 1993). Estes processos, que nas aves podem atingir as centenas (Walls, 1942), rodeiam a periferia da lente estando em contacto directo com a sua cápsula.

Para além de tecido conjuntivo laxo, o qual é rico em melanócitos, fibras elásticas e vasos, o estroma do corpo ciliar consiste ainda no músculo ciliar (Korbel *et al.*, 1998), o qual em contraste com o dos mamíferos, é estriado e constituído por três grupos distintos, variáveis consoante as espécies: o grupo muscular anterior (ou músculo de Crampton), o grupo muscular posterior (ou músculo de Brücke) e o grupo muscular interno (de Müller) (Pardue, 1996; Katzir & Howland, 2003). Uma quarta porção foi apenas descrita no Búteo de cauda vermelha (*Buteo jamaicensis*) (Lord, 1956, citado por Korbel *et al.*, 1998). O músculo de Crampton assume maiores dimensões nos falcões e corujas, sendo mais pequeno nas aves aquáticas e ausente no Corvo marinho (*Phalacrocorax* spp.) (Evans & Martin, 1993).

Uma característica importante relativa ao músculo ciliar é que este participa activamente nos processos de acomodação destes animais, sendo eles tanto lenticulares como corneanos. Fibras do músculo de Crampton estendem-se até à camada interna da córnea onde, durante a acomodação, a puxam posteriormente, permitindo mudanças na sua curvatura (Pardue, 1996; Korbel *et al.*, 1998). Por outro lado, a configuração lenticular é também alterada graças a fibras do músculo ciliar posterior que permitem a movimentação da base do corpo ciliar, a qual é articulada directamente com a lente pelos processos ciliares e não indirectamente através das fibras zonulares (Samuelson, 1999; Sivak, 2004). O grupo de fibras de Müller afectam tanto a córnea como a lente (Pardue, 1996; Katzir & Howland, 2003).

Graças a estes mecanismos particulares adaptados a uma miríade de habitats, as Aves possuem uma amplitude de acomodação enorme, passando por 0,6 D a mais de 10 D nos *Strigiformes* (Martin, 1993), 16 D e 28 D para o Peneireiro americano (*Falco sparverius*) e Búteo de cauda vermelha (*Buteo jamaicensis*) respectivamente (Glasser *et al.*, 1997), chegando até 64 D para o Corvo marinho de faces brancas (*Phalacrocorax carbo*) (Katzir & Howland, 2003) e 80 D para o Pato olho d'ouro (*Bucephala clangula*) (Sivak *et al.*, 1985).

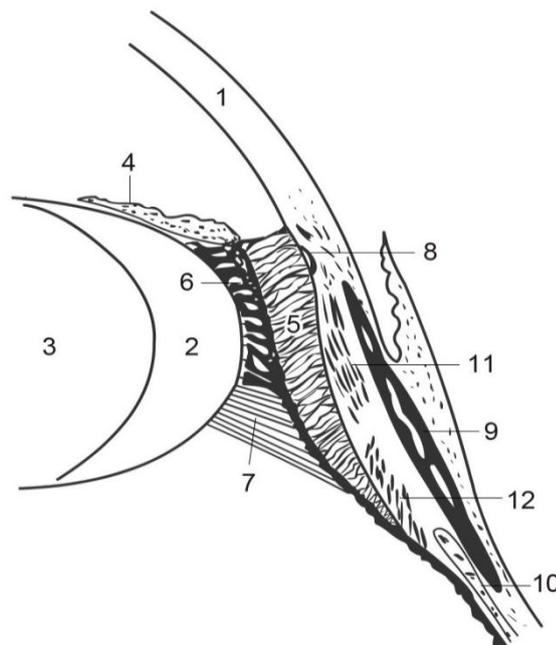
Para além das suas funções de acomodação, o corpo ciliar é o responsável pela produção do humor aquoso pelos seus processos ciliares e manutenção do equilíbrio da PIO, como

será posteriormente descrito (Jones *et al.*, 2007). A superfície destes processos está coberta por um epitélio bilaminar, fortemente pigmentado o qual representa uma derivação da retina e é responsável pela produção do humor aquoso (Evans & Martin, 1993; Korbel *et al.*, 1998). Exerce ainda influência muscular no fluxo convencional do humor aquoso, forma estruturalmente a entrada do fluxo não convencional e constitui uma barreira hemato-aquosa (Jones *et al.*, 2007).

2.3.8. Ângulo irido-corneal

Nos olhos da aves, o ângulo irido-corneal, a extensão lateral da câmara anterior situada entre a íris e a córnea é extremamente bem desenvolvido e estende-se posteriormente entre o corpo ciliar e a esclera, onde recebe o nome de seio cilioescleral (Evans & Martin, 1993). Este seio é atravessado por uma grande rede de fibras elásticas que constituem o ligamento pectinado com as suas laxas aberturas, os espaços de Fontana. O humor aquoso passa através destes espaços até ao seio venoso escleral (canal de Schlemm) o qual é normalmente bifurcado (Korbel *et al.*, 1998) (Fig.12).

Figura 12. Esquema de uma secção meridional através do corpo ciliar e zona do ângulo irido-corneal de um olho de Águia de asa redonda (*Buteo buteo*) (adaptado de Korbel *et al.*, 1998).



- | | |
|---|--|
| 1. Córnea | 7. Fibras zonulares |
| 2. <i>Pulvinus anularis lentis</i> | 8. Canal de Schlemm (seio venoso escleral) |
| 3. Núcleo central da lente | 9. Ossículo escleral |
| 4. Íris | 10. <i>Lamina cartilaginea sclerae</i> |
| 5. Seio cilioescleral e ligamento pectinado | 11. M. ciliar anterior (M. de Crampton) |
| 6. Processos ciliares | 12. M. ciliar posterior (M. de Brücke) |

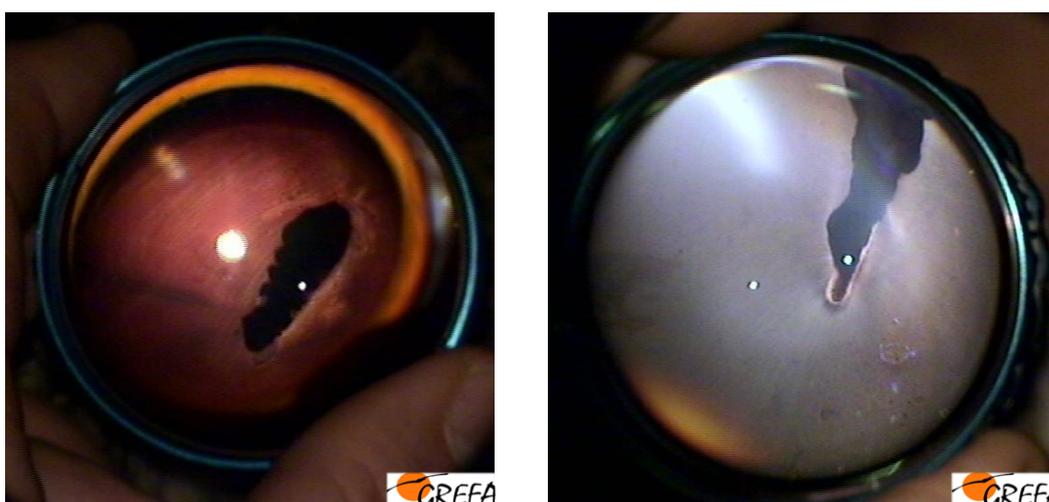
Enquanto que nos mamíferos a estrutura do ângulo irido-corneal é a de uma malha trabecular, essencialmente concebida para a drenagem do humor aquoso, nas aves, ele tem uma função mecânica vital. A profundidade do seio cilioescleral e as fortes fibras que ligam o corpo ciliar à córnea tornam possível o movimento do primeiro em direcção à segunda, contribuindo para o mecanismo especial de acomodação já descrito nestes animais (Korbel *et al.*, 1998). Para além disto, foi demonstrado também que, graças à sua elasticidade, o ligamento pectinado era responsável por exercer tracção na lente para que esta admita um estado mais alongado (Glasser & Howland, 1996).

Devido à grande variabilidade na curvatura da córnea das diferentes espécies, a observação do ângulo irido-corneal na oftalmologia ornitológica torna-se difícil, senão mesmo impossível. Problemas surgem principalmente no uso das lentes de contacto para gonioscopia que estão elaboradas para o tamanho e forma da córnea humana. Embora possam ser usadas em aves com um diâmetro corneano elevado, como corujas e os falcões maiores, elas não podem ser usadas nas espécies mais pequenas e, mesmo usando lentes pediátricas, a sua aplicabilidade é limitada (Korbel *et al.*, 1998).

2.3.9. Pécten

A característica mais conspícua e interessante dos olhos das aves é talvez o pécten, uma estrutura intraocular fortemente vascular e pigmentada. Encontra-se localizado no quadrante temporal posterior e inferior do fundo ocular, projectando-se no corpo vítreo desde o disco óptico, com o qual a sua base coincide (Walls, 1942; Kiama *et al.*, 2006) (Fig.13).

Figura 13. Observação do fundo ocular por oftalmoscopia indirecta.



À esquerda pormenor do pécten no fundo do olho de uma ave nocturna, o Bufo real (*Bubo bubo*) e à direita de uma ave diurna, a Cegonha branca (*Ciconia ciconia*).

Três tipos morfológicos de pécten podem ser identificados: o tipo cónico existente no Kiwi (*Apteryx* spp.) (Samuelson, 1999); em forma de ventoinha reportado na Avestruz (*Struthio camelus*) (Walls, 1942; Kiama *et al.*, 2006) e a forma pregueada, existente nas rapinas e na maioria das outras aves (Braekevelt, 1993; Kiama, Bhattacharjee, Maina & Weyrauch, 1994; Braekevelt, 1994). Neste último tipo, o número de pregas pode variar consideravelmente entre as espécies, parecendo estar estas variações associadas com as necessidades funcionais das aves, incluindo a capacidade visual, verificando-se que aves diurnas têm maior número de pregas e por isso um maior fluxo sanguíneo no pécten (Samuelson, 1999; Kiama, Maina, Bhattacharjee & Weyrauch, 2001). As possibilidades para formas e tamanhos do pécten são imensas, tanto que, a imagem observada do fundo do olho fornece informação para identificação das aves de tanto valor como variações numa outra qualquer característica morfológica (Wood, 1908).

O pécten foi primeiramente descrito em 1687 e ao longo do tempo a sua estrutura e finalidade, até hoje controversas, intrigaram os investigadores durante anos levando-os à formulação de mais de 30 hipóteses para a sua função, algumas delas apenas especulativas e bastante improváveis (Murphy, 1987). Pelo menos um grupo alegava que esta estrutura seria a sede do sentido “magnético” das aves (Danilov *et al.*, 1970 citado por Brach, 1977). No entanto, o facto de o pécten ser desprovido de tecido nervoso (Ehinger, 1967) torna a afirmação questionável.

Outras teorias relativas ao desempenho óptico do pécten não foram também provadas, pecando na sua elaboração, por possuírem o seu fundamento baseado mais nas características macroscópicas do pécten, do que nas suas particularidades histológicas e ultraestruturais (Brach, 1977).

No seu estudo clássico do olho dos vertebrados, Walls (1942) juntou várias evidências anatómicas e circunstanciais para a hipótese de que o pécten, a única estrutura vascular na câmara posterior do olho aviar, serviria como um substituto para a vascularização directa da retina. Efectivamente, esta é, de entre todas as outras hipóteses para a função do pécten, a que está melhor desenvolvida.

A retina, uma extensão directa do sistema nervoso central, é a componente sensorial do olho. Exibe um alto ritmo de consumo de oxigénio e de produção de ácido láctico, o qual se pensa equiparar apenas ao do cérebro e dos tumores (Sickel, 1972, citado por Kiama *et al.*, 2006). Uma estrutura com esta exigência metabólica requer um sistema eficiente de distribuição de nutrientes e de remoção eficaz de metabolitos. No entanto, com excepção de poucas espécies, apenas dentro da classe dos mamíferos, a retina é suprida por vasos sanguíneos, sendo anangiótica nas aves (Samuelson, 1999).

A ablação experimental do pécten permitiu verificar que esta operação produzia uma degeneração rápida e irreversível das camadas retinianas internas. Para além disso, era destruído também o gradiente de oxigénio do pécten até à retina e provocada uma anóxia

relativa no humor vítreo (Wigstrand & Munk, 1965 citado por Brach, 1977). Aperfeiçoamentos a esta técnica permitiram mais tarde a Brach (1975) constatar ainda que a remoção do pécten levava a uma pequena, mas significativa, diminuição do pH normal do humor vítreo, sugerindo o seu papel na regulação do pH intraocular, e explicando também porque o pécten é extremamente rico em anidrase carbónica (Brach, 1977). A necessidade de um regulador de pH dentro do olho aviário poderia estar ligado a um metabolismo retiniano pouco usual. Na retina avascular das aves, as típicas mitocôndrias da camada fotoreceptora são abundantes mas localizadas nos elipsóides apenas, estando ausentes nas camadas mais internas (Hughes, Jerrome & Krebs, 1972). Deste modo, não abundam fenómenos de fosforilação oxidativa para produção de ATP e suspeita-se que a retina utilizará antes glucose como fonte energética. Assim sendo, elevadas quantidades de ácido pirúvico e/ou láctico seriam produzidas pela produção glicolítica de ATP, esperando-se que algum sistema inerente à retina, se encarregaria da remoção do excesso de iões de hidrogénio e acumulação de lactato. Este sistema seria o pécten (Brach, 1977).

Uma outra particularidade importante do pécten é a de possuir um endotélio capilar reduplicado formado por inúmeras micro pregas, para além das pregas primárias que o constituem (Braekevelt, 1993; Braekevelt, 1994), comprovando a existência de um mecanismo de transporte de água, sendo o sentido mais provável do seu movimento, desde os vasos do pécten para o humor vítreo. Por conseguinte, se para além do corpo ciliar, também o pécten secreta fluido, um fluxo será produzido através do humor vítreo, produzindo um efeito de varredura, que poderá facilitar a remoção de produtos do metabolismo retiniano (Brach, 1977). Esta secreção de fluido pode ter ainda um papel adicional em manter a fisiologia vegetativa do olho. Sabe-se há pelo menos 30 anos, que se galinhas (*Gallus domesticus*) forem criadas em condições de iluminação permanente, desenvolvem uma condição glaucomatosa caracterizada por aumento do globo ocular e da PIO, diminuição da curvatura corneana e do volume do espaço aquoso e eventualmente cegueira designada por Glaucoma Aviário Induzido por Luz (*Light-Induced Avian Glaucoma - LIAG*) (Kinnear, Lauber & Boyd, 1974). No entanto, o mecanismo desencadeador desta doença não está ainda esclarecido.

Embora ainda obscuro no seu propósito concreto, o pécten pode ter evoluído no olho das aves como mais uma adaptação contribuindo para a sua elevada acuidade visual. A presença de vasos sanguíneos na retina dos mamíferos e dentro dela, representa um impedimento a uma visão aguçada. A ausência de vasos e mitocôndrias na retina das aves podem assim servir como uma forma de melhorar a qualidade e transparência da imagem retiniana (Hughes *et al.*, 1972; Brach, 1977).

2.4. Humor aquoso e pressão intraocular (PIO)

Os fundamentos da pressão foram estabelecidos por Blaise Pascal que afirmava: “Para moléculas com movimento livre em líquidos e gases, a pressão é definida como uma distribuição uniforme de forças, actuando perpendicularmente a todos os limites”. A PIO é a distribuição de forças do fluido dentro do olho, agindo perpendicularmente à esclera e córnea (Robert, 2007), ou seja, do humor aquoso, estando dependente do balanço dinâmico entre a produção e drenagem do mesmo (Cunningham & Barry, 1986; Alguire, 1990).

O humor aquoso é um fluido transparente produzido pelo corpo ciliar que preenche e confere forma ao compartimento aquoso, o qual consiste na câmara anterior, entre a íris e a córnea, e na câmara posterior, entre a superfície posterior da íris e a superfície anterior da lente (Miller, 2008a). A lente e a córnea devem permanecer transparentes para permitir a transmissão da luz e por isso não podem ser providas de vascularização. O humor aquoso funciona assim como um substituto do sangue para estas estruturas avasculares, nutrindo-as, removendo os produtos de excreção do seu metabolismo, transportando neurotransmissores, estabilizando a estrutura ocular e contribuindo para a regulação da homeostase destes tecidos oculares. Permite ainda a circulação no olho, em condições patológicas, de células inflamatórias e mediadores, bem como a distribuição de fármacos às diferentes estruturas oculares (Goel, Picciani, Lee & Bhattacharya, 2010).

O substrato para a produção do humor aquoso é o sangue que circula através dos capilares dos processos ciliares (Ofri, 2002). A produção do humor aquoso é feita por três mecanismos básicos: difusão, ultrafiltração (mecanismos passivos que não envolvem participação celular activa) e secreção activa pelo epitélio ciliar não pigmentado (Gum *et al.*, 1999) que se encontra em contacto directo com o humor aquoso na câmara posterior (Goel *et al.*, 2010). A ultrafiltração descreve o movimento de água e compostos hidrosolúveis através de uma membrana celular, governado por uma força hidrostática resultante de diferenças de pressão entre os capilares do corpo ciliar e a PIO (Gum *et al.*, 1999; Morrison, Freddo & Toris, 2003). Green e Pederson (1972) afirmavam que seria este processo de ultrafiltração, o responsável por cerca de 80% da produção do humor aquoso, baseados na alta condutividade hidráulica dos processos ciliares. No entanto, foi demonstrado mais tarde, que a diferença de pressão hidrostática no corpo ciliar, era mais pequena que o conjunto das pressões exercidas pela PIO e pressão oncótica, implicando que o processo favorecido seria a reabsorção do humor aquoso e não a sua ultrafiltração (Bill, 1973).

Em 2003, o Prémio Nobel foi atribuído a Peter Agre pela descoberta, em 1992, das aquaporinas (AQPs). Também conhecidas como canais de água, estas estruturas conduzem selectivamente moléculas de água para dentro e fora das células, enquanto impedem a passagem de iões e outros solutos (Mark, 2010). Em 2006, um estudo veio confirmar a existência de duas AQPs (AQP1 e AQP4) presentes nas células epiteliais do

corpo ciliar (Yamaguchi, Watanabe, Hirakata & Hida, 2006), e demonstrar o papel do transporte activo na produção do humor aquoso, o qual é, na maioria das espécies, o factor mais importante na sua formação (Gum *et al.*, 1999), sendo responsável por aproximadamente 80% a 90% da sua produção (Goel *et al.*, 2010).

A energia necessária para o transporte activo é gerada por hidrólise de adenosina trifosfato (ATP) para adenosina difosfato (ADP), a qual é activada por Na^+ (principal constituinte transportado activamente desde o sangue para o humor aquoso) e K^+ , mediados por um complexo enzimático Na^+ , K^+ -ATPase presente no epitélio ciliar não pigmentado. Pela função que exerce, quaisquer alterações que o possam afectar são responsáveis por uma diminuição marcada na produção do humor aquoso (Gum *et al.*, 1999; Goel *et al.*, 2010)

Outra enzima, a anidrase carbónica, encontrada no epitélio ciliar pigmentado e não pigmentado, é a mediadora do transporte de bicarbonato através do epitélio ciliar pela hidratação reversível do CO_2 para formar HCO_3^- e protões através da seguinte reacção: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ (Goel *et al.*, 2010). A entrada de bicarbonato para o humor aquoso está também associada à entrada de água para a câmara posterior. A administração de inibidores sistémicos da anidrase carbónica abrandam a reacção, diminuindo conseqüentemente o ritmo de formação do humor aquoso. É por este motivo que esta enzima é um alvo importante para a intervenção terapêutica dirigida à redução da produção do humor e diminuição da PIO, como seja pela utilização dos seus inibidores sistémicos (Gum *et al.*, 1999).

O humor aquoso resultante destes processos é composto por proteínas, imunoglobulinas, enzimas e lípidos, os quais estão presentes numa concentração muito mais baixa do que no plasma (Gum *et al.*, 1999) enquanto que, as concentrações de componentes que são regulados por transporte activo, tais como aminoácidos e ascorbato, são normalmente mais elevadas que as plasmáticas (Ofri, 2002). A composição do humor depende, não apenas da natureza da sua produção, mas também dos intercâmbios metabólicos que ocorrem com os vários tecidos que se interpõem no seu percurso intraocular (Goel *et al.*, 2010). Para além disso, existem muitas diferenças interespecíficas que resultam normalmente das diferentes exigências metabólicas da córnea e lente de cada espécie. Outras alterações de composição podem ainda resultar de uveíte onde a ruptura da barreira hemato-aquosa, característica de processos inflamatórios, leva a um aumento da concentração de proteínas e outras substâncias inflamatórias (Ofri, 2002).

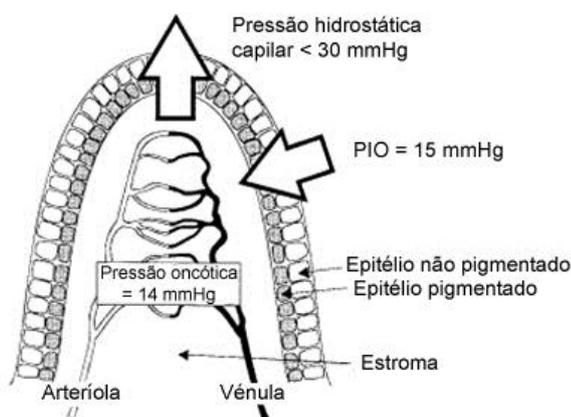
À medida que é produzido nos processos ciliares, o humor aquoso entra na câmara posterior, flui através da pupila até à câmara anterior, onde circula graças à diferença de temperatura entre a córnea arrefecida pelo ar e a íris (processo denominado circulação térmica) abandonando depois o olho (Gum *et al.*, 1999).

O ritmo de produção do humor aquoso iguala o do seu fluxo de saída do olho determinando a PIO. Para a manter dentro de valores constantes e permitir que as superfícies refractárias

do olho se mantenham em posição normal, a cadência de produção do humor desde o estroma ciliar é influenciada por hormonas bem como por inervação simpática e parassimpática. Um aumento na PIO provoca uma diminuição da entrada de humor aquoso na câmara posterior do olho, a qual está relacionada com alterações no gradiente de pressão hidrostática entre ela e a pressão nos capilares do corpo ciliar (Fig.14) (Gum *et al.*, 1999).

A saída do humor aquoso do olho é feita por duas vias, uma convencional e outra não convencional (Gum *et al.*, 1999). A primeira envolve a saída do humor através do ângulo irido-corneal e pode designar-se também por via corneoescleral, enquanto na segunda a drenagem é feita através do corpo ciliar e úvea anterior para o espaço supracoroideu e esclera (Ofri, 2002).

Figura 14. Esquema de um processo ciliar demonstrando as forças hidrostáticas envolvidas na formação do humor aquoso (adaptado de Gum *et al.*, 1999).



Na via convencional o humor aquoso passa pelo ângulo iridocorneal, estrutura formada pela junção da córnea periférica, limbo da esclera, base da íris e porção anterior do corpo ciliar, que se abre numa malha trabecular (ligamento pectinado) de poros progressivamente mais pequenos (espaços de Fontana) (Korbel *et al.*, 1998; Ofri, 2002). Esta malha ultrapassa o sulco escleral e converte-se num canal circular designado por canal de Schlemm. Depois da sua passagem por esta malha e o referido canal, o humor aquoso é finalmente absorvido para as veias episclerais através de canais colectores (Goel *et al.*, 2010). A pressão gerada neste componente venoso da via convencional constitui aproximadamente 50% a 75% da resistência que determina a PIO (Gum *et al.*, 1999).

Alternativamente, o humor aquoso pode abandonar o olho através da via uveoescleral. Passando através da pupila desde a câmara posterior até à câmara anterior do olho, o humor aquoso segue depois através da face anterior do corpo ciliar e base da íris para o músculo ciliar e espaço supracoroideu para dirigir-se ou para as veias da coróide e esclera ou para o tecido episcleral através de poros esclerais (Goel *et al.*, 2010).

Nas aves, o fluxo de saída do humor aquoso é alto (2 a 2,5 $\mu\text{l}/\text{min}$) (Lauber, Boyd & Boyd, 1970 citado por De Stefano & Mugnaini, 1997) mas não existe nenhuma informação que especifique a quantidade de humor que abandona o olho pela via convencional ou pela não convencional.

Uma peculiaridade dos olhos das aves é a presença de um sistema conspícuo de lacunas de paredes finas na coróide, as quais representam uma importante rede linfática, desempenhando um papel não só na drenagem de fluidos transretinais e locais mas também na drenagem activa do humor aquoso. Esta via pode ser de extrema importância auxiliar nas aves mergulhadoras e de rapina, cujos globos oculares estão constantemente submetidos a mudanças de pressão (De Stefano & Mugnaini, 1997).

2.5. Patologia da pressão intraocular

2.5.1. Glaucoma

O glaucoma é uma das condições mais frustrantes e difíceis de lidar na oftalmologia veterinária, o seu diagnóstico e tratamento podem ser bastante desafiantes e, na maioria dos casos, apesar da terapia intensiva, a doença progride incessantemente (Dietrich, 2005). Tradicionalmente, tem sido definido como uma elevação na PIO que é prejudicial para a função ocular normal e a visão. Com o crescente conhecimento dos processos degenerativos que afectam as células ganglionares da retina (CGR) durante a progressão da doença, a definição de glaucoma foi modificada reconhecendo-o, em vez de uma entidade única, como um grupo de doenças caracterizadas pela diminuição de sensibilidade e função das CGR, progredindo para a sua morte e perda de axónios dos nervos ópticos. Estas mudanças resultam numa redução incremental da função visual e em cegueira (Gelatt & Brooks, 1999). Nesta definição não é referido o aumento da PIO uma vez que os danos induzidos pelo glaucoma podem continuar a verificar-se mesmo depois de uma diminuição efectiva da PIO e surgem, inclusivamente, em pacientes normotensos (Ofri, 2002). No entanto, o aumento da PIO é ainda o factor de risco primário na patogénese do glaucoma, e a maioria das formas da doença em animais são caracterizadas por hipertensão ocular (Gelatt & Brooks, 1999). Assim sendo, e uma vez que a PIO é sempre apenas um sintoma de uma franca perturbação na dinâmica do humor aquoso, não a causa da desordem por si, é importante que seja avaliada cuidadosamente para alívio da dor numa fase precoce e permitir preservar a função visual do olho (Korbel *et al.*, 1998).

Teoricamente, uma elevação na PIO poderá resultar do aumento da produção de humor aquoso ou da diminuição na sua drenagem. No entanto, na prática, a sua elevação é

provocada por obstruções nas vias de fluxo de saída do humor aquoso e não pelo aumento da sua produção. Dependendo da natureza da obstrução, o glaucoma pode ser classificado como primário, secundário ou congénito (Korbel *et al.*, 1998).

O glaucoma primário é definido como uma elevação da PIO, não relacionada com doença ocular concomitante mas antes com perturbações da drenagem causadas por um estreitamento do ângulo irido-corneal ou alterações na malha trabecular. Nas aves, este tipo de glaucoma, à semelhança do que acontece nos gatos (Dietrich, 2005), é bastante raro. Nos primeiros, tal pode ser explicado pelas largas aberturas e a posição superficial do seio venoso escleral que permitem uma melhor drenagem do humor aquoso que em mamíferos (Korbel *et al.*, 1998). No glaucoma secundário, as complicações surgem por uma doença ocular primária tal como seja na uveíte grave e persistente, onde se pode encontrar obstrução do ângulo irido-corneal pela produção de células inflamatórias ou membranas neovasculares e sinéquias posteriores ou anteriores periféricas (Miller, 2008b). Para além disso o ângulo pode ainda ser obstruído pela lente quando luxada, glóbulos vermelhos, melanócitos ou neoplasias intraoculares. Por último, casos de glaucoma congénito surgem quando existem anomalias no ângulo irido-corneal ou malha trabecular em animais recém-nascidos e tem muito mau prognóstico (Gelatt & Brooks, 1999).

Uma outra classificação possível para os glaucomas, e que complementa a primeira, baseia-se no tipo de ângulo irido-corneal, podendo ser de ângulo aberto, estreito ou fechado, dependendo da distância entre a córnea e a base da íris (Gelatt & Brooks, 1999).

2.5.1.1. Glaucoma nas aves

Existem apenas alguns casos documentados de glaucoma em espécies selvagens, o que não significa que estas lhe sejam imunes. Acontece antes que a escassez de informação deriva provavelmente dos problemas objectivos associados com a clínica de fauna selvagem: a necessidade de controlo químico de algumas espécies, o baixo número de indivíduos a que se tem acesso, os recursos limitados de muitos centros de recuperação de fauna selvagem e a falta de valores de referência normais de PIO para a maioria das espécies (Ofri, 2002).

Embora sem uma etiologia clara, foi verificado que em Codornizes japonesas albinas mutantes (*Coturnix coturnix japonica*), se desenvolvia um glaucoma de ângulo fechado como resultado de alterações na fisionomia ocular, tais como, reduzida curvatura corneana e aumento da lente, levando a sinéquia periférica anterior e consequente obstrução do ângulo irido-corneal. Para estes animais foi encontrado o valor de PIO de 25,2 mmHg, enquanto o valor dos indivíduos normais rondava os 17,3 mmHg (Takatsuji, Sato, Iizuka, Nakatani & Nakamura, 1986).

Um caso de glaucoma primário foi também descrito num Bufo da Virgínia (*Bubo virginianus*) com 15 anos de idade, criado em cativeiro. O animal apresentava ao exame oftalmológico midríase, buftalmia e congestão episcleral bilaterais. As PIOs encontravam-se entre 26,4 e 42,4 mmHg (valores de referência médios de 7,1 mmHg) tendo-se verificado depois, como lesão histológica primária uma malha trabecular displásica, não sendo possível, no entanto, identificar a etiologia exacta desta alteração nos ângulos irido-corneais (Rayment & Williams, 1997).

Em aves de rapina, o glaucoma secundário a trauma parece ser relativamente prevalente e a causa para que poucos casos estejam descritos, parece resultar do simples facto de não ser realizado o seu diagnóstico rotineiro (Ofri, 2002).

Estudos retrospectivos e prospectivos mostram que em aves de rapina a prevalência de lesões oculares pode ir de 14 a 28%, sendo que 90% destas são resultado de um trauma físico. E embora muitas afecções oculares possam surgir por causas naturais, a principal causa descrita deriva de algum tipo de contacto com o ser humano, estando as colisões com veículos e os disparos classificados para estas aves como as primeiras causas de lesão do globo ocular e suas estruturas circundantes (Murphy *et al.*, 1982). Trauma afectando os globos oculares pode facilmente levar a glaucoma pelos fenómenos que dele resultam. Aumentos da PIO nestes casos, estão quase sempre relacionados com a existência de hifema com desvio do ângulo de filtração induzido pela hemorragia, bloqueio da filtração provocado por luxação da lente e formação de sinéquias inflamatórias que consoante a sua gravidade podem resultar na oclusão completa da pupila e *iris bombé* (Korbel *et al.*, 1998) (Fig.15).

Figura 15. Sequelas oculares de trauma.



À esquerda hifema no olho de um Mocho galego (*Athene noctua*) e à direita uma sinéquia posterior no olho de um Bufo real (*Bubo bubo*).

Como já foi descrito, existe ainda uma outra forma de glaucoma nas aves, o LIAG (Kinneer *et al.*, 1974). Verificou-se que este tipo de glaucoma podia ser induzido em galinhas, expondo os animais a regimes de luz contínua. Este fenómeno apresenta-se como um

excelente modelo animal para o estudo do glaucoma humano de ângulo aberto, sendo também comparado com outros modelos animais como o cão, coelho e macaco. A verificação de que o LIAG responde a vários fármacos anti-glaucoma torna-o ainda num potencial candidato a futuros ensaios farmacológicos (Lauber, 1987).

2.5.2. Hipotensão ocular

A hipotensão ocular desenvolve-se nos humanos devido tanto a uma diminuição da produção de humor aquoso provocada por inflamação ou medicação ou, pela sua perda, normalmente relacionada com trauma ou cirurgia (por exemplo ciclodíalise com fins terapêuticos, ou como complicação de cirurgia do segmento anterior do olho) (Aminlari & Callahan, 2004; Fine, Biscette, Chang & Schiff, 2007).

Nos cães e gatos, em casos de uveíte, embora a PIO possa variar muito consoante a duração e gravidade da doença, ela está geralmente diminuída tanto na forma aguda como crónica (Collins & Moore, 1999). Na aguda, a diminuição da PIO é uma das suas indicações mais precoces e subtis e por isso é importante que seja controlada. O corpo ciliar encontra-se inflamado, produzindo conseqüentemente menos humor aquoso, a barreira hemato-aquosa encontra-se comprometida e, para além disso são produzidas prostaglandinas endógenas que parecem aumentar o fluxo de saída uveoescleral (Collins & Moore, 1999; Miller, 2008b). Na uveíte crónica, tanto a fibrose como atrofia do corpo ciliar podem contribuir para diminuição da função secretora e hipotonia ocular. Uma disfunção grave do corpo ciliar poderá resultar na retracção do globo ocular ou *phthisis bulbi* (Collins & Moore, 1999).

Nas aves o mecanismo patológico da uveíte é análogo ao descrito (Williams, Villavincencio & Wilson, 2006). No entanto, as suas principais causas incluem trauma, infecções, inflamação imunomediada e neoplasia (Bayón *et al.*, 2007), podendo também desenvolver-se uveíte anterior secundária a úlceras corneanas (Korbel, 2000 citado por Bayón *et al.*, 2007).

Uveíte e redução iatrogénica da pressão intraocular podem ser clinicamente confundidas. A última pode surgir em aves de rapina no mesmo olho do decúbito em que se encontre o animal, devido à aplicação de uma maior pressão sobre o globo ocular, provocando uma drenagem forçada do humor aquoso (Kern, 1997).

Num estudo em que foram exploradas oftalmologicamente Corujas do mato (*Strix aluco*) vítimas de acidentes de viação, verificou-se que as lesões inflamatórias que apresentavam eram todas crónicas e as suas PIOs significativamente mais baixas do que em olhos normais, indicando que processos inflamatórios moderados, mas activos, estavam ainda presentes (Williams *et al.*, 2006).

2.6. Medição da pressão intraocular

Existem dois tipos de métodos para a medição da PIO: a manometria, como único método directo de medição deste parâmetro e a tonometria, usada como um método indirecto de medição da PIO, sendo o praticado nos exames oftalmológicos de rotina (Reuter, Müller, Arndt & Eule, 2010).

2.6.1. Manometria

De uma perspectiva física, a técnica mais exacta para determinar a PIO realiza-se mediante a colocação de uma cânula na câmara anterior do olho que, por sua vez, se encontra ligada a um manómetro. Este método directo, implica a perfuração do globo ocular para a introdução da referida cânula (Manent, Arranz & Arenas, 2009). A PIO é mais elevada que a pressão atmosférica, por isso, se uma pequena agulha for inserida na câmara anterior do olho, o humor aquoso irá fluir através dela. Se a agulha estiver ligada a um reservatório de fluído, que esteja colocado em posição suficientemente elevada para prevenir perdas de humor aquoso, a altura da coluna de fluído, normalmente calibrada em centímetros de água, ou milímetros de mercúrio (mmHg), reflecte a PIO (Kniestedt, Punjabi, Lin & Stamper, 2008). Pelo seu carácter extremamente invasivo, não apresenta aplicação clínica para monitorização da PIO, mantendo-se reservada para a oftalmologia experimental (Manent *et al.*, 2009).

Exemplos da aplicabilidade da manometria são, em ambiente laboratorial, medição contínua de PIO, avaliando o efeito de manipulações fisiológicas e farmacológicas de pressão, elaboração de curvas de calibração para métodos tonométricos e permitir a avaliação da sensibilidade e reprodutibilidade dos mesmos quando comparados com um método directo (Passaglia, Guo, Chen & Troy, 2004; Kniestedt *et al.*, 2008; Reuter *et al.*, 2010).

2.6.2. Tonometria

A tonometria refere-se à estimativa indirecta não invasiva da pressão intraocular (Alguire, 1990).

Como já foi descrito anteriormente, é o humor aquoso que governa o estado do globo ocular: se a sua quantidade for menor do que o normal o olho torna-se demasiado brando, se for superior torna-o demasiado rígido. À semelhança do que se passa com a água, o humor aquoso é incompressível. Por este motivo, se existir em maior quantidade no olho do que o espaço lhe permite, irá exercer força nas demais estruturas oculares, pressionando-as contra a camada ocular externa. Esta irá, por sua vez comprimir as estruturas brandas do olho, e as forças assim aplicadas serão de novo transmitidas através do humor aquoso para

activar a sua drenagem e devolver o globo ocular a um estado confortável. É este equilíbrio dinâmico que se tenta capturar e avaliar através da tonometria (Stuckey, 2004).

Esta técnica de diagnóstico é talvez um dos testes mais importantes, mas infelizmente, dos menos usados em oftalmologia veterinária. Durante muito tempo, a tonometria foi apresentada como um simples método diagnóstico de glaucoma (PIO elevada). No entanto, representa muito mais, sendo também um meio para diagnóstico de uveíte anterior (PIO tipicamente reduzida) e para confirmação de diagnósticos de todas as outras causas de olho vermelho, tais como queratite, conjuntivite e esclerite (PIO supostamente não afectada) (Maggs, 2008). Para além disto é extremamente importante na avaliação da evolução pós-operatória de todas as cirurgias intraoculares (Pillunat, Kohlhaas, Böhm & Spoerl, 2006).

2.6.2.1. Tonometria digital

A tonometria digital encontra-se reportada aos tempos pré-Hipocráticos e é ainda executada por alguns oftalmologistas humanos e veterinários (Strubbe & Gelatt, 1999). Esta técnica envolve a colocação do dedo indicador na pálpebra superior, sobre o globo, aplicando pressão para estimar a rigidez que este apresenta (Renwick, 2002). Tal consiste numa medição da PIO extremamente subjectiva, incerta e não reprodutível. A dependência neste método leva a um diagnóstico incorrecto e uma terapia ocular inapropriada, culminando em consequências inadmissíveis para os animais como sejam cegueira e perpetuação de dor ocular (Maggs, 2008). Para além disto, a tonometria digital não é aplicável a aves dada a existência do anel esclerótico e do tarso na pálpebra inferior, estruturas que, se palpadadas, podem levar a uma avaliação errónea da PIO (Korbel, 1993).

2.6.2.2. Tonometria de indentação

Uma força conhecida irá criar uma depressão num objecto cheio de fluído ou gás, tanto maior quanto menor for a pressão interna do mesmo. Este é o princípio em que se baseia a tonometria de indentação (Kniestedt *et al.*, 2008). No globo ocular, uma força é aplicada através de um êmbolo de peso conhecido, o que irá provocar uma deformação ou indentação da córnea, a deslocação do êmbolo corresponderá ao grau de deformação e inversamente, à PIO (Robert, 2007).

Hjalmar Schiøtz, o primeiro director do Departamento do Olho no Hospital de Rijks em Oslo, desenvolveu um excelente tonómetro em 1905 que viria, eventualmente, a ser o instrumento mais utilizado por todo o mundo. Graças à sua simplicidade, fiabilidade e relativa precisão, é o único tonómetro de indentação utilizado actualmente (Anderson & Grant, 1970; Strubbe & Gelatt, 1999; Kniestedt *et al.*, 2008).

O tonómetro de Schiøtz consiste num êmbolo, uma plataforma de metal curva para corresponder à curvatura da córnea humana, num manípulo e pesos (5,5 g, 7,5 g, 10 g ou 15 g) cuja adição ou remoção irá manipular o peso aplicado ao globo ocular (Maggs, 2008). O topo do êmbolo contacta com uma alavanca curva que se liga a um ponteiro que, por sua vez, percorre uma escala (Kniestedt *et al.*, 2008). Dependendo da rigidez da córnea, o êmbolo (que protrude ligeiramente da superfície côncava da plataforma metálica), é variavelmente deprimido de tal forma que, por cada 0,05 mm de depressão, o ponteiro se move numa unidade de escala. As leituras desta escala são depois convertidas a mmHg através das tabelas de conversão ou calibração do instrumento (Strubbe & Gelatt, 1999).

Antes de se proceder à utilização do tonómetro de Schiøtz, uma gota de anestésico tópico deve ser colocada na córnea e o paciente contido de forma a que as pálpebras estejam cuidadosamente retraídas, sem aplicação de pressão no globo ocular ou veias jugulares, o que poderá aumentar a PIO (Strubbe & Gelatt, 1999; Maggs, 2008). Como este tonómetro está desenhado para encarar a córnea verticalmente em pacientes humanos colocados em decúbito dorsal (Kniestedt *et al.*, 2008), a sua utilização em alguns pacientes animais torna-se pouco praticável, ou mesmo impossível, pela dificuldade de posicionamento e escassa cooperação por parte dos mesmos, bem como pelo stress que lhes pode induzir (Maggs, 2008). Um outro aspecto que torna pouco prática a utilização deste tonómetro reside nas suas necessidades de limpeza. O muco e sais das lágrimas podem facilmente secar as superfícies do êmbolo, impedindo a liberdade dos seus movimentos e levando a resultados pouco precisos. Está ainda indicado que o instrumento seja esterilizado com óxido de etileno para prevenir a transmissão de agentes patogénicos entre os pacientes (Maggs, 2008; Strubbe & Gelatt, 1999).

Este tonómetro tem o seu desenho baseado no olho humano, sabendo-se por isso que existem muitas variações na precisão das medições realizadas em cães e gatos, inerentes à diversidade de tamanhos oculares. Olhos maiores com córneas mais planas tendem a fornecer leituras erroneamente mais baixas, enquanto que olhos com uma curvatura corneana maior fornecem leituras falsamente elevadas (Strubbe & Gelatt, 1999).

Todas as considerações expostas adquirem ainda maior dimensão quando falamos do caso das aves, onde a multiplicidade de pacientes parece ser interminável. Em aves com olhos pequenos, a utilização do tonómetro de Schiøtz é simplesmente impossível uma vez que o diâmetro da sua plataforma metálica ultrapassa o da córnea e mesmo o da esclera (Korbel, 1993; Williams, 1994); a contenção dos animais, dependendo do seu temperamento, poderá ser complicada; o factor stress pode ser um grande obstáculo e é de extrema importância, principalmente quando se consideram as aves selvagens; a membrana nictitante pode interferir bastante com a tonometria (Strubbe & Gelatt, 1999) (Fig.16) e embora existam tabelas de calibração para cães e gatos, elas estão indisponíveis para aves, tornando a avaliação de dados obtidos com este tipo de tonómetro bastante difícil (Bayón *et al.*, 2007).

Através da utilização do tonómetro de Schiøtz, conhecem-se os valores de PIO de 15-17 mmHg para falcões e de 20 mmHg para galinhas (Bayón *et al.*, 2007).

Figura 16. Medição da PIO com Tonómetro de Schiøtz num exemplar de Abutre negro (*Aegypius monachus*).



2.6.2.3. Tonometria de impacto ou dinâmica (Rebound Tonometry)

Os tonómetros de impacto são instrumentos de contacto, portáteis e relativamente recentes que se baseiam no método de medida de PIO pelo movimento de indução-impacto de um objecto sobre a córnea (Davies, Bartlett, Mallen & Wolffsohn, 2006).

Embora os princípios deste tipo de tonometria tenham sido introduzidos há cerca de 60 anos, o seu funcionamento viu-se descrito em 1997 por Kontiola, validado e utilizado com sucesso em olhos de ratos (Kniestedt *et al.*, 2008). O seu sistema de medida é constituído por um solenóide, uma sonda magnetizada e processadores electrónicos. A sonda tem 40 mm de comprimento, uma massa de 26,5 mg e a sua extremidade encontra-se coberta por uma pequena capa de plástico com um diâmetro de 1,7 mm (Davies *et al.*, 2006).

O funcionamento do aparelho consiste, antes de cada medição, na aplicação de uma corrente eléctrica transiente (30 milissegundos) ao solenóide, a qual cria um campo magnético que repele o íman permanente da sonda, provocando o seu movimento em direcção à córnea a uma velocidade de cerca de 0,2 metros por segundo, que embora seja baixa, permite uma medição mais rápida que o reflexo corneal (Kontiola, 2000). Depois da propulsão inicial estar completa, o controlo electrónico inicia a monitorização da voltagem induzida no solenóide pelo movimento da sonda magnetizada, permitindo assim que a velocidade e direcção deste movimento sejam monitorizados durante o restante ciclo de medição. A sonda atinge, desacelera e faz ricochete na superfície central da córnea. Por sua vez, o microprocessador analisa a mudança de voltagem exercida no solenóide provocada por esta desaceleração e converte-a num sinal digital (Kontiola, 1997). A referida voltagem depende assim da velocidade da sonda, sendo que, para uma menor duração de contacto, menor a desaceleração e mais elevada será a PIO (Davies *et al.*, 2006).

Embora este tipo de tonometria tenha já sido considerada há vários anos atrás, apenas recentemente teve um resurgimento na sua popularidade graças à fabricação de um novo tonómetro de impacto, cuja versão para animais se denomina TonoVet® (Maggs, 2008). Estudos já realizados para cães (Görig, Coenen, Stades, Djajadiningrat-Laanen & Boevé, 2006), gatos (Rusanen, Florin, Hässig & Spiess, 2010) e cavalos (Knollinger, La Croix, Barrett & Miller, 2005) vieram comprovar a fiabilidade deste instrumento e a existência de uma boa correlação com estudos manométricos nestes animais, até agora os únicos para os quais o tonómetro está completamente calibrado, permitindo adaptar o seu software a cada espécie antes de realizar as medições (iCare Finland Oy, 2008).

Uma das supostas vantagens inovadoras deste tipo de instrumentos é permitirem a realização da tonometria sem a necessidade de aplicação prévia de anestesia tópica, estando mesmo contraindicado o seu uso (iCare Finland Oy, 2008). Esta técnica tonométrica é afectada pela tensão ocular superficial e por isso mesmo deve ser realizada antes da instilação de qualquer tipo de colírios incluindo os anestésicos (Maggs, 2008). Os colírios podem alterar a tensão lacrimal superficial e as forças capilares exercidas podem afectar os tempos de contacto da sonda com a córnea (Kniestedt *et al.*, 2008). Também o efeito desestabilizador da película lacrimal provocado por conservantes presentes em certos anestésicos tópicos pode levar a alterações na cinética da sonda (Cho & Brown, 1995; Almubrad & Ogbuehi, 2007).

Tal característica levanta algumas questões no que toca a medições efectuadas por estes tonómetros poderem ser afectadas pela presença de queratoconjuntivite seca (na qual a tensão superficial se encontra claramente alterada) e pela presença de patologia corneal, como a que é frequentemente encontrada em animais com glaucoma e uveíte (Maggs, 2008).

Para além da sua aplicação nas espécies acima descritas, este tipo de tonómetros tem vindo a ser testado também em aves. Um estudo realizado sobre galinhas (Prashar, Guggenheim, Erichsen, Hocking & Morgan, 2007) pretendeu avaliar a validade da utilização da tonometria de impacto nestes animais, bem como descrever o comportamento das medições em indivíduos não anestesiados. Os resultados sugeriram que mesmo em aves alertas e apenas ligeiramente contidas, nas quais resultam imprecisões posturais nas medidas da PIO, o tonómetro em questão demonstrou ser moderadamente robusto, permitindo a obtenção de estimativas viáveis de PIO.

Também para aves de rapina foram avaliadas as capacidades e aplicabilidade deste tonómetro. Olhos de 44 exemplares das espécies Águia rabalva (*Haliaeetus albicilla*), Açor (*Accipiter gentilis*), Gavião da Europa (*Accipiter nisus*), Águia de asa redonda (*Buteo buteo*), Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*), Coruja do mato (*Strix aluco*), Bufo pequeno (*Asio otus*) e Coruja das torres (*Tyto alba*) foram enucleados no evento da eutanásia destes animais por motivos não relacionados com problemas oftalmológicos. Medidas múltiplas

realizadas com o TonoVet[®] foram comparadas com um aparelho manométrico. Os resultados verificaram o que empiricamente seria de esperar: os valores de PIO obtidos por tonometria demonstraram, relativamente aos manométricos, um desvio espécie específico, enfatizando o aspecto de que estas diferenças devem ser consideradas na interpretação dos valores tonométricos de PIO para cada espécie (Reuter *et al.*, 2010).

Apesar da enorme variabilidade encontrada para cada espécie de ave estudada, um consenso entre todas elas é sem dúvida a extrema facilidade com que este instrumento é aceite pelos animais, graças ao seu método de tonometria rápido e praticamente não indutor de stress. Também o facto de este aparelho apresentar uma sonda de dimensões reduzidas permite aumentar as suas possibilidades de aplicação aos pequenos globos oculares de algumas espécies ornitológicas, aspecto que, como já foi referido é impeditivo da utilização de outros métodos tonométricos (Prashar *et al.*, 2007; Jeong *et al.*, 2007; Reuter *et al.*, 2010).

As principais desvantagens deste tonómetro são o seu elevado preço (Plurivet, comunicação pessoal, Agosto 2, 2011) e o facto de não estar ainda totalmente difundido pela clínica e menos ainda no que toca ao seu uso rotineiro na prática clínica na maioria dos centros de recuperação de fauna selvagem.

2.6.2.4. Tonometria de aplanamento

Em 1885, Maklakoff redigiu um tratado sobre tonometria. Auxiliado pelo reconhecimento, seu contemporâneo, do funcionamento de gotas de cocaína como anestesia tópica para a córnea (Kniestedt *et al.*, 2008), descreveu a teoria por detrás do método da tonometria de aplanamento e a sua aplicação ao seu novo tonómetro.

Maklakoff afirmava que a PIO podia ser determinada medindo a quantidade de força necessária para deslocar um volume constante de humor aquoso do olho ou, aplicando uma força constante e medindo o deslocamento volumétrico do humor produzido por essa força (Johnson, 2010). O seu tonómetro consistia de um cilindro de metal, de peso conhecido, com as extremidades planas e cobertas por vidro. Estas superfícies de vidro eram esterilizadas pela introdução em álcool ou éter, impregnadas por uma fina camada de suspensão de argirol e colocadas em contacto com a córnea. A área de contacto entre o vidro e a córnea era indicada por uma zona circular desprovida de argirol, cujo diâmetro era medido quando se transferia a mancha resultante para um papel, comparando-o com uma tabela que o relacionaria com a PIO em mmHg (Amigo, 1967).

Imbert conhecia bem o trabalho de Maklakoff e foi em 1888 que publicou, juntamente com Fick a conhecida Lei de Imbert-Fick (Stuckey, 2004) a qual permanece a base física da tonometria de aplanamento. Ambos analisaram as forças que actuam num modelo de olho simplificado equiparado a uma esfera ideal, seca, infinitamente fina e perfeitamente elástica

na sua forma. Determinaram que a pressão no seu interior (P) era igual à força necessária para aplanar a sua superfície (F) dividida pela área de aplanamento (A), ou seja: $P = F / A$ (Dabasia, 2006; Manent *et al.*, 2009).

Fick desenvolveu um simples tonómetro mecânico baseado nas suas considerações teóricas. Apresentou um mecanismo accionado por uma mola que pressionava uma pequena plataforma de metal contra a córnea, descobrindo que era preciso, dentro de vários mmHg, a medir pressões em olhos de porcos e ovelhas. Este instrumento forneceu-lhe suporte empírico para a sua teoria mas nunca foi utilizado em olhos de outras espécies e foi rapidamente substituído pelo descrito tonómetro de Maklakoff (Kniestedt *et al.*, 2008; Johnson, 2010).

Embora seja uma importante referência e apesar da sua utilidade clínica, a Lei de Imbert-Fick baseia-se num modelo do órgão visual com um conjunto de propriedades em que, estritamente nenhuma, corresponde à realidade (Johnson, 2010). O olho não é uma estrutura elástica com um volume fixo, por isso a sua compressão durante as medições aumenta a PIO acima do seu nível natural; a córnea não é infinitamente fina e flexível, por isso, a sua resistência à deformação não é apenas influenciada pela PIO, mas também pelas suas propriedades biomecânicas. Para além disto, a córnea não é seca mas sim humedecida por lágrimas que através da força capilar exercem uma atracção na sonda do tonómetro e diminuem a força necessária para aplanamento da córnea (Dabasia, 2006; Johnson, 2010). Todos estes factores devem estar presentes quando se pretende aplicar a referida Lei à medição da PIO e, foi a crescente consciencialização da sua interferência nas medições, que permitiram o aperfeiçoamento das técnicas de tonometria (Kniestedt *et al.*, 2008).

Apesar da sua utilidade, o tonómetro de Maklakoff tinha já várias desvantagens conhecidas relacionadas com as premissas referidas. O efeito das forças capilares da película lacrimal e as forças da rigidez da córnea distorcida eram negligenciadas e a área de aplanamento relativamente grande, juntamente com o elevado peso do instrumento, aumentavam a PIO iatrogenicamente durante a medição. Para além disto, o menor movimento do olho do paciente alterava a mancha de argirol, tornando-a maior do que a área real de aplanamento (Kniestedt *et al.*, 2008). Na generalidade, este tonómetro nunca ganhou muita popularidade, em parte devido à introdução do já descrito tonómetro de Schiøtz pouco tempo depois. A relativa rapidez e simplicidade de uso deste tonómetro vieram mudar as preferências do aplanamento para a indentação (Johnson, 2010).

A reintrodução da tonometria de aplanamento surgiu quando Hans Goldmann apresentou o seu tonómetro em 1955 (Stuckey, 2004) e com ele novas perspectivas para este tipo de tonometria. Goldmann reconheceu que a existência de uma espessura corneana finita, uma rigidez corneana mensurável e forças capilares de atracção exercidas pela película lacrimal

precorneana, afectariam a precisão de um tonómetro (Welnreb, Brandt, Garway-Heath & Medeiros, 2007).

Baseado nos seus estudos em olhos de cadáveres, modificou o princípio de Imbert-Fick de modo a ser capaz de o aplicar de forma realista ao olho humano. Incorporou a influência da película lacrimal e da córnea, formulando o seguinte: $P + E = F/A + S$ onde P é a PIO, E o módulo da elasticidade corneana, F a força necessária para aplanar a córnea, A a área de aplanamento e S a força de atracção por tensão superficial da lágrima (Manent *et al.*, 2009). No percurso dos seus estudos Goldmann concluiu que para córneas humanas de espessura considerada normal (500 μm) os factores E e S se anulavam para valores de A entre 4,9 e 12,5 mm^2 . A equação simplificava-se então de novo a: $P = F / A$. Baseando-se em experimentação empírica, Goldmann elegeu cuidadosamente uma área de aplanamento, chegando à conclusão de que uma área circular de 3,06 mm de diâmetro era a que fornecia o melhor compromisso entre tonometria baseada na lei de Imbert-Fick e valores verdadeiros de PIO medidas por canulação (Manent *et al.*, 2009; Johnson, 2010).

O funcionamento do tonómetro desenvolvido baseia-se na aplicação de uma força variável a um bi-prisma que contacta com a córnea, o qual opticamente converte a área circular de contacto, delineada por um menisco de fluoresceína, em dois semicírculos (Johnson, 2010). Intensifica-se a força aplicada para aumentar a área de contacto até que seja de 3,06 mm e os dois semicírculos se comecem a sobrepor. Este é o ponto em que uma área correcta da córnea foi aplanada e a força necessária para a obter corresponderá então à PIO. Quanto mais força for necessária exercer para sobrepor os semicírculos, mais elevada será a PIO e vice-versa (James & Benjamin, 2007).

Rapidamente foi aceite como um instrumento padrão sendo que todos os outros tonómetros são calibrados com base nele e a pressão medida, a qual pode ser designada número de Goldmann, é universalmente respeitada (Stuckey, 2004). É até hoje considerado o tonómetro mais preciso em oftalmologia humana (Strubbe & Gelatt, 1999).

No entanto, este tonómetro não é portátil, funciona fixo a um biomicroscópio com uma lâmpada de fenda, requer que o paciente esteja numa posição sentada e o olho se matenha estacionário por vários segundos para permitir a obtenção de uma leitura precisa, o que condiciona o seu uso na prática clínica veterinária (Strubbe & Gelatt, 1999). Embora tentativas de adaptar este tonómetro a animais tenham sido realizadas com sucesso em animais de laboratório (ratos não anestesiados), as condições experimentais utilizadas não parecem adequar-se a outros indivíduos, continuando a sua aplicabilidade limitada (Cohan & Bohr, 2001).

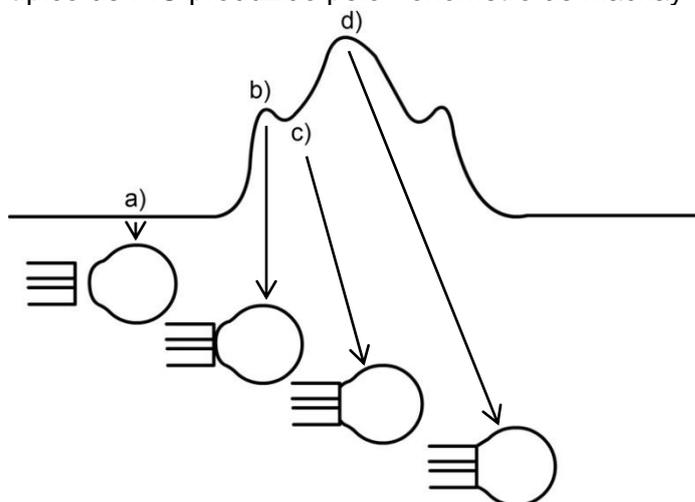
Foram, mais tarde, desenvolvidos tonómetros portáteis, baseados nos princípios de Goldmann. Exemplos são os tonómetros de Draeger e Perkins, aparelhos portáteis, funcionando a baterias e que permitiam medições independentemente da posição do paciente (Perkins, 1965; Draeger, 1967). No entanto, estes instrumentos continuavam a

necessitar de um requisito, o de o olho se manter estático, não tendo também ganho popularidade na medicina veterinária (Strubbe & Gelatt, 1999).

Com a introdução do tonómetro de aplanamento de Mackay-Marg, uma série de tonómetros electrónicos tornaram-se depois disponíveis (Strubbe & Gelatt, 1999). Este tonómetro era constituído por um pequeno êmbolo de cerâmica (1,5 mm de diâmetro) montado em borracha de silicone que o fazia projectar ligeiramente da ponta de uma sonda de aço e estava conectado a um sensor (Moses, Marg & Oechsli, 1962; Kniestedt *et al.*, 2008). Movimentos do êmbolo menores que um micrómetro eram detectados, electronicamente gravados e transferidos para um papel à semelhança de um electrocardiograma. Durante o uso, a ponta do tonómetro era protegida por uma membrana de borracha descartável e o instrumento podia ser utilizado com o paciente em várias posições. À medida que a córnea era aplanada, o deslocamento do êmbolo traduzia-se numa crista partindo de uma linha base que representava a PIO mais a força de flexão da córnea. Ao passar este ponto seria quando a córnea estaria idealmente aplanada e se criava uma depressão no traçado da medição. Era a altura a que se encontrava esta depressão acima da linha base, que correspondia à PIO. Com o avançar da sonda a curva subia novamente traduzindo um máximo de aplanamento até ao ponto em que era removida do olho delineando-se uma imagem simétrica da primeira parte (Fig.17) (Moses *et al.*, 1962).

Este tonómetro foi bastante difundido e utilizado com sucesso para estimar a PIO em cães (Priehs, Gum, Whitley & Moore, 1990), para os quais foi inclusivamente aceite como o tonómetro mais satisfatório para avaliação de glaucoma (Gellat, Peiffer, Gum, Gwin & Erikson, 1977), em gatos (Miller, Pickett, Majors & Kurzman, 1991), em cavalos (Miller, Pickett & Majors, 1990), em bovinos de produção leiteira (Gum, Gelatt, Miller & Mackay, 1998) e em coelhos (Gellat & Gum, 1981). Foi também tentada a sua aplicação em pombos, mas pela pequena dimensão do seu globo ocular não foi possível obter medições (Görig, Schoemaker, Stades & Boevé, 2005).

Figura 17. Traçado típico de PIO produzido pelo Tonómetro de Mackay-Marg



a) linha base; b) crista representativa do conjunto da PIO e força de flexão da córnea; c) depressão correspondente ao aplanamento ideal da córnea; d) máximo de aplanamento (adaptado de Jain & Marmion, 1977).

Apesar do seu bom desempenho e de ser considerado como o tonómetro de aplanamento mais fiável para medição de PIO na maioria das espécies animais descritas, já não é fabricado actualmente (Görig *et al.*, 2006), tendo sido substituído por um instrumento análogo. Uma versão extremamente portátil e operável a bateria do tonómetro de Mackay-Marg, desenhado em princípio para uso exclusivo em humanos: o Tono-Pen (Miller *et al.*, 1991; Kniestedt *et al.*, 2008).

2.6.2.5. O tonómetro de aplanamento Tono-Pen

O tonómetro Tono-Pen corresponde a um tonómetro de Mackay-Marg miniaturizado dotado de análise electrónica de sinais e um mostrador digital de pressão (Hessemer, Rössler & Jacobi, 1989).

O instrumento consiste de uma sonda com uma plataforma com 3,22 mm de diâmetro rodeando um êmbolo central móvel com 1,02 mm de diâmetro (Strubbe & Gelatt, 1999; Welnreb *et al.*, 2007; Reichert Ophthalmic Instruments, n.d.), o qual realiza movimentos na ordem dos micrómetros quando em contacto com a córnea (Boothe, Lee, Panek & Pettit, 1988). Pressionando o instrumento contra a córnea activa-se um extensómetro que detecta a força gerada pelo êmbolo para aplanar a córnea. À medida que o resto da ponta do tonómetro entra em contacto com a córnea, a força exercida no êmbolo reduz até que este esteja alinhado com a plataforma. O efeito da rigidez corneana é transferido para a plataforma circundante e, a esse ponto, a força exercida pelo êmbolo é considerada como sendo correspondente apenas à PIO (Welnreb *et al.*, 2007). Esta mudança de forças traduz-se numa onda de voltagem, bastante semelhante na sua configuração, com o traçado obtido pelo tonómetro de Mackay-Marg. A voltagem é amplificada, analisada e digitalizada por um microprocessador de chip único e o seu valor armazenado se tiver uma configuração adequada (Boothe *et al.*, 1988).

O instrumento desenhado em forma de caneta pesa 59,4 g, possui as dimensões de 18,4 cm de comprimento, 2,5 cm de largura e 2,2 cm de espessura, funcionando com duas baterias de dióxido de lítio e manganês, especificadas pelo fabricante.

Este tonómetro encontra-se internamente calibrado e é necessário verificar esta calibração pelo menos uma vez por dia antes do início das medições ou, sempre que se obtenham repetidamente medições inesperadas (Reichert Ophthalmic Instruments, n.d.). Antes da realização da tonometria, um anestésico tópico deve ser instilado em cada olho e se necessário, as pálpebras afastadas tendo o cuidado de não exercer pressão sobre elas (Strubbe & Gelatt, 1999). A ponta da sonda é coberta por uma membrana de látex descartável e usada para gentil e repetidamente contactar perpendicularmente com a zona central da córnea (Fig.18). Após quatro medidas independentes serem realizadas com sucesso, o instrumento exhibe num mostrador de cristal líquido (*Liquid Cristal Display* - LCD)

a média resultante em mmHg, combinada com o índice de confiança estatístico ou aproximação ao desvio padrão da mesma (5%, 10%, 20% ou >20%). Médias que apresentem 20% ou mais de desvio padrão devem ser repetidas. O tonómetro apresenta um intervalo de medição indicado pelo fabricante abrangendo desde 5 a 80 mmHg (Reichert Ophthalmic Instruments, n.d.).

Figura 18. Medição da PIO num exemplar de Milhafre real (*Milvus milvus*) com o tonómetro Tono-Pen Vet[®].



Vários instrumentos foram fabricados e lançados no mercado ao longo do tempo, sendo um dos mais usados o Tono-Pen XL[®] (Reichert Technologies, 230635, Nova Iorque, E.U.A.). Este tonómetro, desenhado para uso em humanos tem sido largamente utilizado em medicina veterinária pela fiabilidade que apresenta no seu uso em animais. No entanto, mais tarde um outro modelo foi lançado, o Tono-Pen Vet[®] (Reichert Technologies, 230635V, Nova Iorque, E.U.A.) Este apresenta todas as especificações do Tono-Pen XL[®] (Reichert Technologies, 230635, Nova Iorque, E.U.A.) e são basicamente o mesmo produto, tendo sido criado apenas pela necessidade de separar os equipamentos segundo a área médica (Reichert Technologies, comunicação pessoal, Junho 2, 2011). Por este aspecto, embora o aparelho utilizado neste estudo seja o Tono-Pen Vet[®] (Reichert Technologies, 230635V, Nova Iorque, E.U.A.), várias referências surgem feitas ao Tono-Pen XL[®] (Reichert Technologies, 230635, Nova Iorque, E.U.A.) porque nele se baseia uma grande parte da literatura já existente.

A facilidade e comodidade de uso deste tonómetro permitiu a sua difusão crescente pela Medicina Veterinária. Vários estudos foram realizados em diferentes espécies, fornecendo uma série de informação sobre a sua PIO e ampliando a possibilidade de utilização deste instrumento para lá da clínica de animais de companhia. Para além de apresentar valores biológicos de referência bem estabelecidos para cães (Gelatt & Mackay, 1998) e gatos (Miller *et al.*, 1991), este tonómetro foi também já testado, com bons resultados, em coelhos (Abrams, Vitale & Jampel, 1996), ovinos, bovinos (Passaglia *et al.*, 2004), grandes

herbívoros selvagens (zebra, órix-da-arábia, impala, rinoceronte, adax) (Ofri, Horowitz & Kass, 1998; Ofri, Horowitz, Raz, Shvartsman & Kass, 2002), cobaios (Coster, Stiles, Krohne & Raskin, 2008), furões (Montiani-Ferreira, Mattos & Russ, 2006) e mesmo nos pequenos olhos de ratos (Moore, Milne & Morrison, 1993).

O estudo talvez mais relevante para este trabalho foi o efectuado por Korbel e Braun (1999) onde investigações tonométricas foram realizadas em olhos saudáveis de 247 aves (46 espécies de 7 ordens). Como resultado das medições obtiveram-se valores de PIO entre $10,6 \pm 1,5$ e $18,7 \pm 1,5$ mmHg, tendo-se concluído que o tonómetro de aplanamento Tono-Pen XL[®] (*Reichert Technologies*, 230635, Nova Iorque, E.U.A.) permitia obter valores fiáveis em aves com olhos de diâmetro corneano mínimo de 9 mm mas que, mesmo para córneas com diâmetros de 5 mm, as leituras eram viáveis. Para além disto, leituras manométricas de comparação foram ainda realizadas em olhos enucleados, gerando curvas de calibração, a partir das quais foi derivada uma fórmula de regressão para utilização do tonómetro nas diferentes espécies. Estas fórmulas permitem a obtenção da PIO mais próxima da realidade, uma vez que, as medições tonométricas demonstraram ser distintas das manométricas. A tendência observada foi de, para valores manométricos abaixo de 10 mmHg, o tonómetro sobrestimar a PIO e subestimá-la para valores de manometria iguais ou superiores a 25 mmHg.

Capítulo 3. Desenvolvimento Experimental

3.1. Objectivos

Para que a tonometria possa ser um exame com valor diagnóstico, o clínico deve ser capaz de se basear nos valores fisiológicos para a espécie a ser investigada. Para além disso, os enormes intervalos de valores possíveis, levantam questões relacionadas com diferenças anatómicas e fisiológicas entre as espécies, cujas respostas podem contribuir para a compreensão da patofisiologia das doenças.

Tendo em conta a enorme variabilidade interespecífica no que diz respeito a estes valores de referência para parâmetros biológicos e, verificando-se para aves de rapina uma gama de variação de 100% (Stiles, Buyukmihch & Farver, 1994), este estudo teve como principal objectivo tentar estabelecer, recorrendo à utilização do tonómetro de aplanamento Tono-Pen VET® (*Reichert Technologies*, 230635V, Nova Iorque, E.U.A.), uma estimativa de um intervalo de referência fisiológico de PIO para uma espécie onde o mesmo não foi ainda investigado nem determinado, o Peneireiro das torres (*Falco naumanni*). Para além disso procurou-se avaliar se ocorriam variações significativas na PIO quando comparada entre sexos, animais de diferentes idades, entre medições consecutivas no mesmo olho, medições entre olho direito e esquerdo, medições realizadas no interior e exterior do hospital e se havia evolução na leitura das medidas por parte do utilizador com a progressão dos dias.

Os referidos factores, à excepção dos dois últimos enumerados, foram também investigados para as aves da espécie Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*).

Procurou-se ainda estabelecer relações entre os dados obtidos nas duas espécies estudadas, bem como com outros dados provenientes de estudos previamente realizados.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Animais

No mês de Fevereiro de 2011 foram realizadas as medições de PIO a 40 exemplares de Peneireiro das torres (*Falco naumanni*) e 12 Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*), aves de rapina diurnas residentes no GREFA – Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat, Madrid, Espanha (40° 28'06.37 N, 3° 50'25.87 O). Da primeira espécie fazem parte animais pertencentes ao programa de cria em cativeiro de Peneireiro das torres “Proyecto de cría en cautividad del Cernícalo Primilla”, sendo a grande maioria nascida em

cativeiro nas instalações do centro, enquanto que outros são animais irrecuperáveis que deram entrada no hospital de fauna e mais tarde se integraram no referido programa. Estes animais foram os eleitos para integrar este estudo pelo número elevado de exemplares disponíveis, facilitando a colheita de amostras. Para além disso, um outro factor foi a inexistência de dados para a espécie Peneireiro das torres (*Falco naumanni*).

Os animais encontram-se alojados em instalações ao ar livre em grupos (Fig.19) ou em pares de reprodutores e o seu exame é feito duas vezes por ano, pelo que todo o seu historial médico se encontra documentado. A tonometria foi realizada no contexto de uma exame médico destas aves, para comprovar o seu estado hígido antes da época de reprodução.

Figura 19. Instalação comunitária para cria em cativeiro de Peneireiro das torres (*Falco naumanni*).



Os Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*), estão presentes no departamento de reabilitação, tendo sido maioritariamente admitidos no centro depois de sofrerem algum tipo de lesão ou doença. Alguns destes indivíduos foram considerados como exemplares irrecuperáveis para reintrodução no seu habitat natural e outros estavam a ser preparados para serem libertados. Nestes casos, a tonometria foi realizada como parte integrante do seu exame físico.

Foram critérios de inclusão neste estudo a utilização de animais sem lesões ou doença activos e cujo exame oftalmológico tenha sido considerado normal. Animais de ambos os sexos e diferentes idades foram examinados.

3.2.2. Preparação do tonómetro Tono-Pen VET®

Todas as manhãs antes da preparação dos animais e realização das medições, era verificada a correcta calibração do instrumento. Uma vez que o tonómetro possuía menos de

1 ano desde o seu fabrico, foi considerado como preservando ainda especificações de calibração válidas do fabricante.

Como indicado no manual do instrumento, este era termicamente estabilizado no ambiente onde se iriam realizar as medições, pelo menos 30 minutos antes, a uma temperatura controlada de 22°C (Reichert Ophthalmic Instruments, n.d.). Exceptuam-se as medições realizadas no exterior a aproximadamente 7°C.

A ponta do tonómetro foi constantemente inspeccionada visualmente para a presença de algum tipo de irregularidade que pudesse interferir com as medições e coberta com uma membrana de látex descartável (Ocu-Film Tip Cover® (Reichert Technologies, Nova Iorque, E.U.A.)) que se mudava sempre que se iniciavam medições num novo animal ou quando se armazenava o instrumento.

3.2.3. Exame oftalmológico

Todos os animais foram contidos apenas manualmente e a sua exploração oftalmológica realizada. Efectuou-se inicialmente a inspecção das pálpebras para a existência de alguma alteração, bem como dos globos oculares no que diz respeito ao seu tamanho, posição e forma. Avaliou-se a forma como cada animal era capaz de seguir fixamente um objecto, o reflexo de ameaça e palpebral bem como, a existência de posições anormais da cabeça que sugerissem cegueira unilateral. Ambos os ouvidos de todos os animais foram igualmente inspeccionados para a presença de sangue, o que poderia ser compatível com hemorragia intraocular.

Foi ainda realizada a oftalmoscopia directa com o Oftalmoscópio WelchAllyn 3.5v Coaxial (WelchAllyn Inc., Nova Iorque, E.U.A.) bem como a avaliação das imagens de Sanson Purkinje.

Nos animais em que se suspeitava de úlcera corneana foi realizado o teste de fluoresceína, instilando topicamente uma gota da substância seguida por uma pequena lavagem com soro fisiológico para revelação das lesões.

3.2.4. Determinação de valores de PIO

Depois da exploração ocular, uma gota de Colircusi Anestesico Doble® (hidroclorato de oxibuprocaína 4 mg/ml e hidroclorato de tetracaína 1 mg/ml, Laboratórios Alcon, Barcelona, Espanha), um anestésico tópico estéril, foi aplicada na córnea. Procedeu-se depois ao restante exame físico durante o qual os animais foram mantidos em decúbito dorsal de olhos cobertos com um pano para que se mantivessem mais tranquilos à manipulação. Por último realizou-se a medição da PIO com os animais colocados na mesma posição, mantendo a

cabeça cuidadosamente contida através dos ramos da mandíbula ou do bico, com o cuidado de não exercer pressão nas veias jugulares ou globos oculares.

Com a ponta do tonómetro (plataforma com 3,22 mm de diâmetro com um êmbolo de 1,02 mm de diâmetro) foram realizadas três medições repetidas de cada olho, obtendo os respectivos valores em mmHg (Unidade Internacional: Pascal, $1 \text{ Pa} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$), sendo estes, valores médios de quatro toques válidos na córnea, sinalizados por um aviso acústico e exibidos num ecrã de LCD. A ordem da realização das medições no olho direito ou esquerdo foi totalmente aleatória e foram aceites valores com uma aproximação ao desvio padrão $\leq 10\%$. Como aconselhado pelo fabricante, o tonómetro foi sempre aplicado no ponto mais central da córnea (Reichert Ophthalmic Instruments, n.d.) (Fig.20).

Todas as medições foram realizadas no período entre as 10 e as 13 horas e efectuadas sempre pelo mesmo utilizador, minimizando flutuações diurnas na PIO e erros humanos como variáveis.

Figura 20. Medição de PIO em exemplares de Peneireiros das torres (*Falco naumanni*).



Contenção dos animais pelo bico evitando a pressão sobre as veias jugulares ou globos oculares e colocação da ponta do tonómetro o mais central possível em relação à córnea.

3.2.5. Análise estatística de dados

Valores de PIO das espécies Peneireiro das torres (*Falco naumanni*) e Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*) foram estatisticamente analisados.

Relativamente à variável idade os animais foram agrupados em duas classes: sub-adultos (animais com aproximadamente 7 meses de idade), aves de primeiro inverno antes da idade reprodutiva, ainda em mudança de plumagem (Fig.21) e adultos (entre 2 e 7 anos de idade), animais dentro da idade reprodutiva, ou seja, que já se tenham reproduzido pelo menos uma vez e com a plumagem final.

No que diz respeito à variável sexo, a classificação de machos e fêmeas foi facilmente executada graças ao marcado dimorfismo sexual de plumagem apresentado pelos dois géneros, mesmo nos animais sub-adultos.

O local onde se realizaram as medições foi dividido em “Interior” e “Exterior” para quando a tonometria foi realizada dentro do hospital a uma temperatura de 22°C e fora dele a uma temperatura de 7°C.

Para realização da análise dos dados obtidos no presente estudo, recorreu-se à utilização do programa R[®] *version 2.13.0* para o *Windows* (R Development Core Team, 2011) e sua extensão, R *Commander[®] version 1.6-4* (Fox, 2011).

Figura 21. Exemplar de Peneireiro das torres (*Falco naumanni*). Macho sub-adulto, realizando a muda de penas.



Foi realizada a estatística descritiva das amostras quantitativas (procedimento *Numerical summaries*) obtendo-se a média, desvio padrão, valores mínimos e máximos e quartis.

Para testagem da normalidade das variáveis quantitativas analisadas, recorreu-se ao teste de Shapiro-Wilk (procedimento *Shapiro-Wilk test of normality*) (Karp, 2010).

A comparação das variáveis quantitativas com uma distribuição não normal realizou-se recorrendo a testes não paramétricos. O teste amostras emparelhadas de Wilcoxon (procedimento *Paired-sample Wilcoxon test*) foi utilizado para estabelecer comparações entre amostras emparelhadas. Neste caso, entre médias de PIO obtidas para o olho direito (OD) e para o esquerdo (OE) de indivíduos dentro das espécies e entre elas para determinação da natureza do efeito observado de acordo com a espécie. Para comparações entre as variáveis quantitativas dentro de duas categorias de uma variável qualitativa, utilizou-se, por sua vez, o teste de duas amostras de Wilcoxon (procedimento *Two-sample Wilcoxon test*). Foi aplicado para avaliar os principais efeitos da idade, sexo e, para o caso dos Peneireiros das torres (*Falco naumanni*), do local onde se efectuaram as medições (interior ou exterior).

Para análise de amostras repetidas foi utilizado o teste de análise de variância não paramétrico de Kruskal-Wallis (procedimento *Kruskal-Wallis test*) (Karp, 2010). Através deste teste foi analisado o efeito da replicação das medições na PIO (diferenças entre a primeira, segunda e terceira medição tonométrica). Para além disso foi também aplicado, no

caso dos Peneireiros das torres (*Falco naumanni*), para avaliar a existência de diferenças no desvio padrão das medidas para ambos os olhos, ao longo dos quatro dias em que foram realizadas. Quando o referido teste forneceu resultados significativos, foram depois aplicados múltiplos testes de amostras emparelhadas de Wilcoxon com valores de P ajustados pelo método de Benjamini e Hochberg (BH) (Benjamini & Hochberg, 1995).

Para todas as análises de dados realizadas foi considerado um intervalo de confiança de 95% e por isso todos os valores de $P < 0,05$ considerados como estatisticamente significativos.

Capítulo 4. Resultados

4.1. População de pacientes

4.1.1. Exame físico

Um total de 52 aves de rapina diurnas foram examinadas. A maioria não apresentava quaisquer alterações relevantes ao exame físico que influenciassem este estudo, senão algumas consequências mínimas da manutenção em cativeiro, tais como retrizes danificadas, garras e bicos compridos e pequenas feridas na cera devido à contenção dos animais antes dos exames.

4.1.2. Achados oftalmológicos

Como já foi referido, todos os animais utilizados neste estudo foram alvo de um exame físico completo, anterior ao momento de se efectuarem as medições da sua PIO. A tonometria apenas foi realizada nas aves que não demonstraram sinais de doença ou lesão activas, nem alterações oculares.

Relativamente aos Peneireiros das torres (*Falco naumanni*) três animais apresentaram alterações. Um dos animais apresentava blefarospasmo constante no olho direito, impossibilitando a adequada realização das medições e o outro, uma pequena mácula na periferia da córnea, também no olho direito. A terceira ave foi identificada com uma anormalidade congénita, microftalmia que apesar de ser unilateral levou à exclusão deste animal do estudo (Fig.22).

Figura 22. Exemplares de Peneireiros das torres (*Falco naumanni*) com lesões oculares.



À esquerda, olho direito com pequena mácula corneana periférica, à direita, presença de microftalmia unilateral no olho esquerdo.

No caso dos Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*) foram identificadas alterações em dois animais, e nestes sim, provavelmente provocadas por algum tipo de trauma. Uma das aves deu entrada no centro com blefarite e uma mácula corneana no olho esquerdo bem como dilatação pupilar irregular associada a uma sinéquia anterior. Quando comparada com a do olho direito, a pupila esquerda apresentava muito menor reactividade à luz e a oftalmoscopia directa revelou uma pequena hemorragia na base do pécten. O outro animal apresentava uma úlcera corneana no olho esquerdo (Fig.23).

Figura 23. Exemplares de Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*) com lesões oculares.



À esquerda olho esquerdo com mácula corneana e em midríase irregular por sinéquia anterior. À direita olho esquerdo com úlcera corneana identificada pelo teste de fluoresceína.

4.1.3. Idade e sexo

As Tabelas 1 e 2 mostram as distribuições de sexo e classe etária das espécies de aves estudadas.

Tabela 1. Distribuição por sexo das aves examinadas.

Espécie/Sexo	Macho	Fêmea	Total
Peneireiros das torres	18	22	40
Peneireiros comuns	5	7	12
Total	24	28	52

Tabela 2. Distribuição por classe etária das aves examinadas.

Espécie/Idade	Sub-adulto	Adulto	Total
Peneireiros das torres	21	19	40
Peneireiros comuns	4	8	12
Total	25	27	52

4.2. Determinação de valores de PIO

Uma vez que os dados obtidos para cada espécie não apresentam uma distribuição normal, valores de médias de PIO, desvios padrões (\pm DP), intervalos de PIO (máximo e mínimo) e quartis foram calculados (Tabela 3). Esta informação é ainda útil para comparações com literatura já existente. Os dados que figuram na Tabela 3 são referentes a todas as aves às quais foi realizada a tonometria no interior do hospital a 22°C.

Tabela 3. Estatística descritiva da PIO de olhos saudáveis. Medições realizadas a 22°C.

Espécie	Nº de aves	Nº de olhos	PIO (mmHg, média \pm DP)			Intervalo de PIO (mmHg)
			OD	OE	OD+OE	
Peneireiro das torres	35	68	10,6 \pm 2,4	11,9 \pm 3,4	11,4 \pm 2,7	6,8 – 21,6
Peneireiro comum	12	22	13,7 \pm 3,4	13,7 \pm 4,0	13,9 \pm 3,5	8,2 – 20,7

Espécie/Quartis	25%	50%	75%
Peneireiro das torres	9,67	11,33	12,50
Peneireiro comum	12,29	13,33	16,13

Na Tabela 4, encontra-se exposta a estatística descritiva dos dados recolhidos dos 5 indivíduos da espécie Peneireiros das torres (*Falco naumanni*), aos quais as medições de PIO foram realizadas fora do hospital, a uma temperatura de 7°C.

Tabela 4. Estatística descritiva da PIO em olhos saudáveis. Medições realizadas a 7°C.

Espécies	Nº de aves	Nº de olhos	PIO (mmHg, média \pm DP)			Intervalo de PIO (mmHg)
			OD	OE	OD+OE	
Peneireiro das torres	5	10	18,1 \pm 6,0	14,7 \pm 7,1	16,4 \pm 5,9	11,2 – 25,2

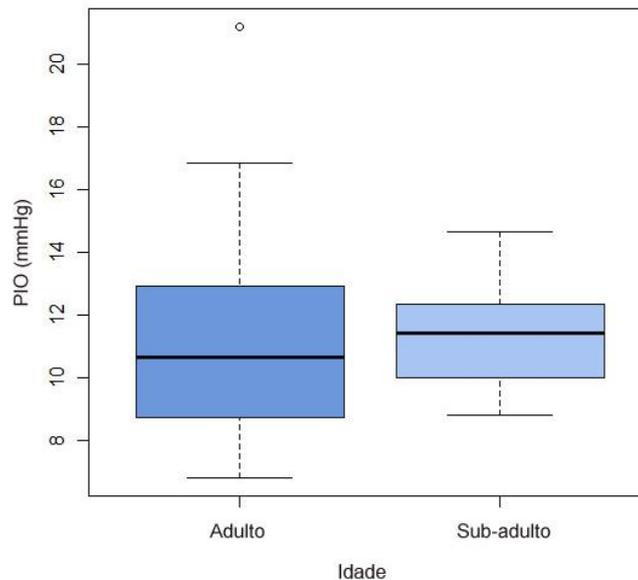
4.2.1. Peneireiros das torres

Relativamente aos Peneireiros das torres (*Falco naumanni*, n=35) não foram encontradas diferenças significativas de PIO entre as médias do olho direito e esquerdo (*Paired-Sample Wilcoxon*, P=0,323) ou entre a primeira, segunda e terceira medições tonométricas de

ambos os olhos (*Kruskal-Wallis*, $P=0,658$ e $P=0,228$ para olho direito e esquerdo respectivamente).

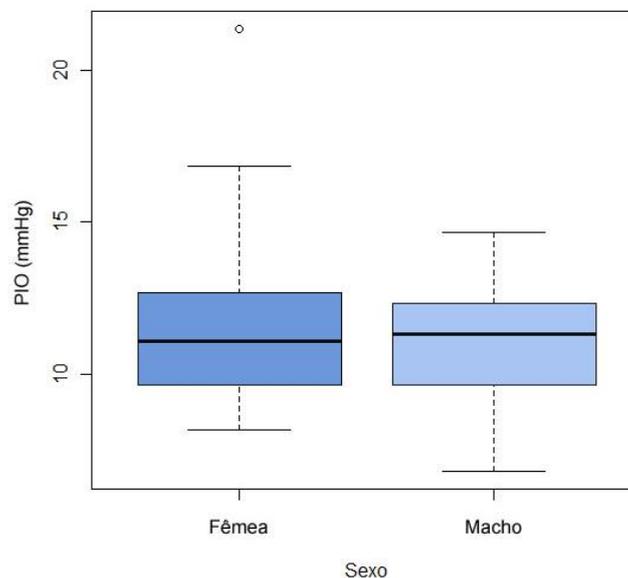
No que diz respeito à influência da idade nos valores de PIO, também não foram encontradas diferenças significativas entre os indivíduos adultos e sub-adultos (*Two-sample Wilcoxon*, $P=0,368$), no entanto, os valores da mediana da PIO obtida para os segundos foi mais elevada que para os primeiros em ambos os olhos (Fig. 24).

Figura 24. Comparação de PIO (mmHg) entre classes etárias de animais examinados da espécie Peneireiro das torres (*Falco naumanni*).



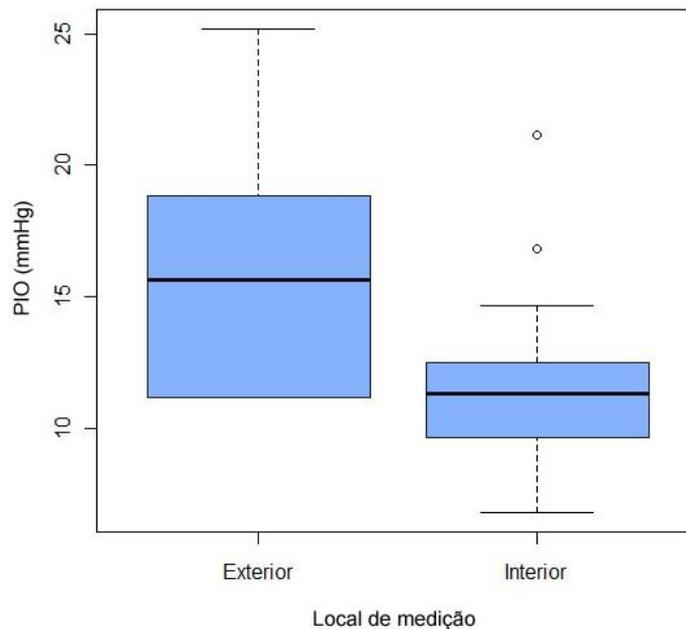
Em relação à variável sexo, também não se encontraram diferenças significativas de PIO para machos e fêmeas (*Two-sample Wilcoxon*, $P=0,986$) observando-se, apesar disso, valores de mediana de PIO ligeiramente mais elevados para os indivíduos do sexo masculino (Fig.25).

Figura 25. Comparação de PIO (mmHg) entre sexos de animais examinados da espécie Peneireiro das torres (*Falco naumanni*).



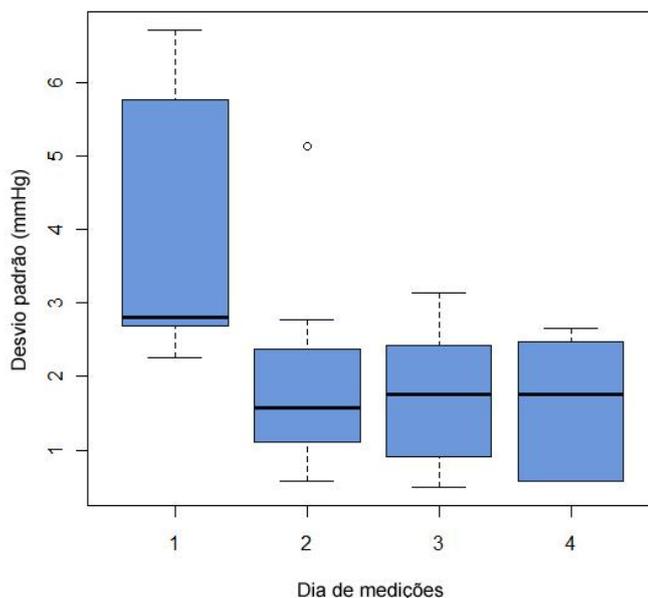
Nas Tabelas 3 e 4, foi já possível verificar a disparidade de valores médios de PIO entre os indivíduos aos quais as medições foram realizadas no interior do hospital (22°C) e no exterior (7°C). A sua análise estatística demonstrou que existia efectivamente, embora no limite da significância, uma diferença entre os referidos valores (Two-sample Wilcoxon, $P=0,047$) (Fig.26).

Figura 26. Comparação de PIO (mmHg) entre os locais onde se realizaram as medições aos indivíduos da espécie Peneireiro das torres (*Falco naumanni*) (7°C e 22°C respectivamente para o exterior e interior).



Como foi referido, para os 35 indivíduos aos quais se realizaram as medições tonométricas no interior do hospital, estas foram levadas a cabo durante 4 dias consecutivos. Na Figura 27 pode comparar-se a distribuição dos desvios padrões das médias das medições ao longo dos dias. As diferenças entre os valores de desvio padrão dos 4 dias mostraram ser significativas (*Kruskal-Wallis*, $P=0,026$). Após aplicação de múltiplos testes de amostras emparelhadas de Wilcoxon com valores de P ajustados pelo método de BH (Benjamini & Hochberg, 1995), foi possível verificar que os valores obtidos no primeiro dia eram os que diferiam significativamente dos outros.

Figura 27. Comparação dos valores de desvio padrão das médias de PIO obtidas ao longo de 4 dias.



4.2.2. Peneireiros comuns

No caso dos Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*, n=12) a análise estatística não revelou quaisquer diferenças significativas de PIO entre as médias do olho direito e esquerdo (*Paired-Sample Wilcoxon*, $P=0,393$) ou entre a primeira, segunda e terceira medições tonométricas de ambos os olhos (*Kruskal-Wallis*, $P=0,767$ e $P=0,668$ para olho direito e esquerdo respectivamente). Também não se verificaram diferenças significativas nos valores de PIO quando comparados entre os diferentes sexos (*Two-sample Wilcoxon*, $P=0,515$) (Fig.28) e diferentes idades (*Two-sample Wilcoxon*, $P=0,349$) (Fig.29).

Figura 28. Comparação de PIO (mmHg) entre sexos de animais examinados da espécie Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*).

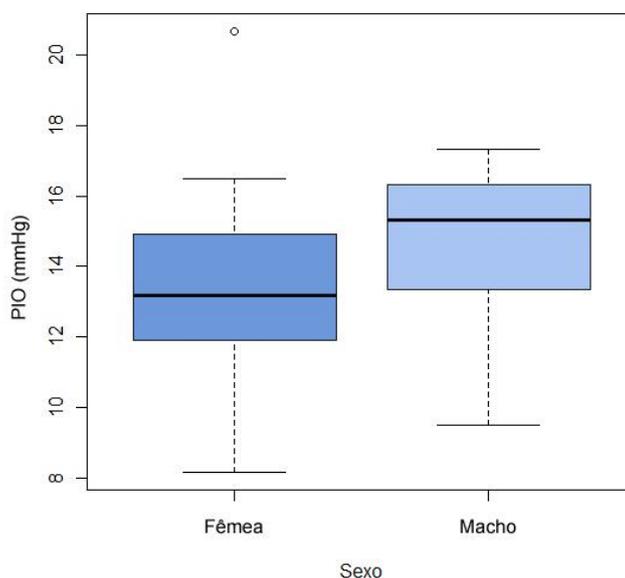
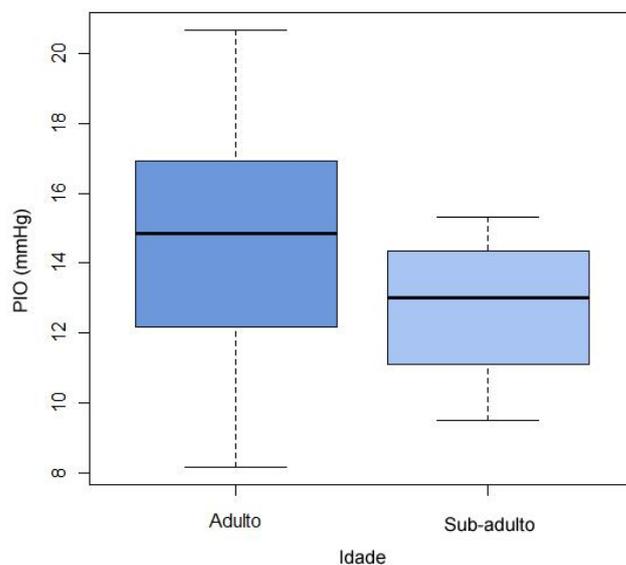


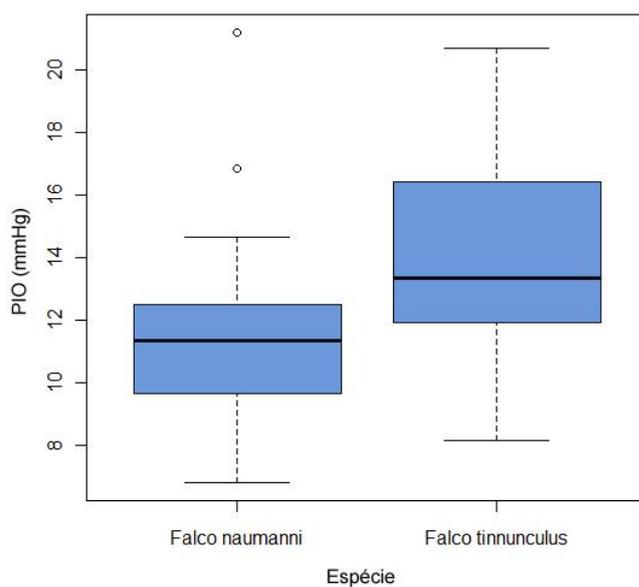
Figura 29. Comparação de PIO (mmHg) entre classes etárias de animais examinados da espécie Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*).



4.2.3. Peneireiros das torres vs Peneireiros comuns

Diferenças de PIO entre as duas espécies estudadas foram analisadas tendo-se verificado que estas são significativas (*Two-sample Wilcoxon*, $P=0,017$) (Fig.30).

Figura 30. Comparação de PIO (mmHg) entre as duas espécies estudadas.



Capítulo 5. Discussão

O olho dos vertebrados é uma estrutura marcadamente conservadora que se manteve inalterada durante anos. Todos os olhos de vertebrados aderem a um plano estrutural básico e por isso, também as reacções dos vários componentes oculares ao trauma, inflamação, infecção e toxinas são semelhantes, independentemente da espécie em que surjam. No entanto, para afirmar um diagnóstico como “normal” é necessário conhecer as variações, essas sim marcadas entre espécies, no que diz respeito aos parâmetros fisiológicos de cada uma (Paul-Murphy & Murphy, 1997).

No presente trabalho foram realizadas medições tonométricas em olhos de aves de rapina diurnas em vida, o que permitiu o contacto com uma área da Medicina Veterinária, a oftalmologia ornitológica, a qual não está muito difundida pela maioria dos clínicos e cujo reconhecimento está ainda em ascensão para atingir o patamar dos cuidados oftalmológicos instituídos na clínica de pequenos animais. Para além disto, trata-se de uma disciplina onde muita investigação deverá ainda ser realizada para preencher todas as falhas no nosso conhecimento.

A tonometria é uma importante parte do exame oftalmológico que não pode nem deve ser subvalorizada, especialmente nas aves de rapina selvagens, para as quais uma visão íntegra tem uma importância capital na sua capacidade de sobrevivência.

O tonómetro de aplanamento Tono-Pen tornou-se numa ferramenta popular e importante para estimar a PIO graças à sua cómoda utilização e obtenção de leituras fiáveis num grande número de espécies, inclusivamente nas aves selvagens. O pequeno diâmetro da córnea de muitas aves impede o uso de um instrumento maior tal como o tonómetro de indentação de Schiøtz (Korbel, 1993; Williams, 1994). Um outro factor que torna complicado o uso de um tonómetro de grandes dimensões são os constantes movimentos da membrana nictitante, os quais se tornam numa proeminente acção reflexa quando as aves visualizam um objecto aproximar-se do olho. A pequena área de contacto com a córnea do Tono-Pen e a necessidade de que este seja feito apenas levemente representam assim grandes vantagens da sua utilização nestes animais (Stiles *et al.*, 1994).

Embora ao longo dos anos, o Tono-Pen tenha evoluído através de uma série de diferentes modelos, a sua utilidade não foi sofrendo alterações (Maggs, 2008), tendo sido popularmente utilizado, com bons resultados, em vários animais, passando depois a ser comercializado especialmente para a Medicina Veterinária sob o nome de Tono-Pen VET[®] (Reichert Technologies, 230635V, Nova Iorque, E.U.A.), modelo que foi utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. Segundo o conhecimento da autora, este foi o único estudo realizado utilizando o Tono-Pen VET[®] (Reichert Technologies, 230635V, Nova Iorque, E.U.A.) examinando animais da espécie Peneireiros das torres (*Falco naumanni*).

A - Achados oftalmológicos

Optou-se por realizar todos os exames oftalmológicos com os animais despertos não tendo sido aplicada em nenhuma altura nenhum tipo de anestesia sistémica ou outro tipo de substâncias nos olhos, excepto o anestésico tópico para a realização da tonometria. A oftalmoscopia directa foi realizada eficazmente sem necessidade da aplicação de quaisquer midriáticos. Admite-se que estes animais apresentam inicialmente reflexos pupilares bastante activos mas que após serem manipulados desenvolverão midríase, com um reflexo pupilar à luz diminuído (Murphy, 1987).

A realização do exame oftalmológico da referida forma permitiu eliminar riscos inerentes à aplicação de midriáticos tópicos cujos efeitos sistémicos são desconhecidos para muitas espécies; anulou-se a necessidade de aplicação intracameral de midriáticos a qual deve ser executada com extrema precaução e por profissionais experientes (Bayón *et al.*, 2007) e eliminou-se a anestesia sistémica como um factor influenciável da PIO, a qual seguramente diminuiria devido à hipotensão que se desencadearia (Ofri, 2002; Ribeiro *et al.*, 2007).

No caso específico dos Peneireiros das torres (*Falco naumanni*), uma vez que a maioria dos animais estudados nasceram em cativeiro, não surgiram nos seus exames lesões físicas resultantes de trauma (queimaduras, colisões com veículos, disparos, electrocussões) as quais representam as causas mais frequentes de lesão ocular em aves que dão entrada em centros de recuperação. No caso específico dos Peneireiros, o seu característico comportamento de pairar no mesmo sítio durante algum tempo enquanto caçam, torna-os especialmente predispostos a disparos (Murphy *et al.*, 1982).

Nos exemplares utilizados desta espécie, seria de esperar não encontrar alterações oftalmológicas significativas. Já se constatou que uma boa visão é crucial para estes animais, inclusivamente para aqueles destinados a manter-se em cativeiro. Assim sendo, raras são as aves conservadas num hospital de fauna ou em reabilitação que possuam alterações oftalmológicas maciças e crónicas tais que não lhes permitam sequer intuir mudanças no seu meio ambiente. Para além disso, as aves de cativeiro são constantemente observadas, sendo que a distribuição dos problemas médicos identificados não estão normalmente de acordo com aqueles que ocorrem em aves selvagens (Murphy *et al.*, 1982). Será por isso mais provável o diagnóstico de achados agudos e pontuais ou daqueles que não afectem directamente a visão, tais como lesões nas pálpebras e conjuntiva, pequenas lesões corneanas, opacidades lenticulares ou deposição de pigmentos resultante de pequenas hemorragias prévias (Harris *et al.*, 2008).

Nas aves utilizadas não foram identificadas lesões que sugiram trauma provocado por mau manuseio ou más instalações. Também não foram encontradas alterações relacionadas com a alta longevidade que podem atingir os animais em cativeiro, tais como sejam cataratas ou mesmo neoplasias.

Apenas em três Peneireiros das torres (*Falco naumanni*) existiram alterações que levaram à eliminação dos olhos afectados deste estudo, procurando incluir nele apenas olhos perfeitos. Um dos animais, embora não apresentasse nenhuma alteração ao exame oftalmológico tornou impeditiva a realização das medições por exhibir blefarospasmo constante. Nos humanos verifica-se que o forte encerramento das pálpebras durante o blefarospasmo pode levar a aumentos dramáticos da PIO, o que conduz a graves erros na sua avaliação e poderia, no caso deste estudo, fornecer também valores irreais (Akram, Yaqub & Dar, 2009).

Uma pequena mácula corneana foi encontrada noutra indivíduo. Embora periférica e permitindo a aplicação do tonómetro numa outra zona da córnea, tal não foi realizado, mantendo o critério de inclusão no estudo de olhos sem alterações. Um provável trauma estaria na origem desta lesão, a qual após o rearranjo das fibras de colagénio do estroma corneano, acabaria por resultar na formação da cicatriz identificada.

Uma terceira ave apresentava microftalmia, a qual consiste numa das alterações congénitas mais frequentemente encontrada em aves (Buyukmihci, Murphy & Schulz, 1988; Piñeiro & Bert, 2011). Embora a alteração fosse unilateral optou-se por não utilizar este animal no estudo, não tendo sido submetido à tonometria.

No que diz respeito aos Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*) dois animais apresentaram achados oftalmológicos consistentes com a ocorrência de algum tipo de trauma. Num deles identificou-se blefarite, uma mácula corneana, dilatação pupilar assimétrica aparentemente associada a uma sinéquia anterior e uma hemorragia na base do pécten (as quais são relativamente frequentes dada a natureza extremamente vascular desta estrutura (Murphy, 1987)). Foi possível acompanhar este animal mais tarde, tendo-se verificado que, das alterações descritas, apenas a hemorragia no pécten se solucionou mas, em contrapartida, começou a desenvolver-se uma opacidade do cristalino que se foi agravando com o tempo. Não é um objectivo deste trabalho relacionar alterações patológicas com flutuações de PIO mas, esta ave seria uma boa candidata, para seguimento da evolução do olho afectado bem como da dinâmica do seu humor aquoso, face a uma sinéquia e o desenvolvimento de uma catarata traumática.

Na outra ave desta espécie, havia uma forte suspeita de úlcera corneana que se confirmou após resultado positivo a um teste de fluoresceína, demonstrando que atingia uma porção significativa da córnea, impedindo em absoluto a aplicação do tonómetro.

B - Determinação de valores de PIO

A tonometria de aplanamento baseia-se na lei de Imbert-Fick que afirma que uma força externa aplicada contra uma esfera iguala a pressão dentro da mesma, multiplicada pela área aplanada pela respectiva força. No entanto, para que a lei seja válida, a esfera deve ser perfeita, flexível, seca e infinitamente fina (Dabasia, 2006; Manent *et al.*, 2009). Uma vez que a córnea não satisfaz nenhum destes requisitos, são necessárias modificações à lei, adaptando-a a uma córnea não esférica, existência de tensão lacrimal superficial, espessura e rigidez corneana. A selecção apropriada do tamanho da área aplanada permite que algumas das forças, como a tensão lacrimal superficial e a resistência corneana à deformação, se equilibrem ou se tornem clinicamente negligenciáveis (Manent *et al.*, 2009; Johnson, 2010). Embora o tonómetro utilizado neste estudo seja um modelo supostamente desenhado para o uso veterinário, na realidade o tamanho da zona de aplanamento seleccionado pelo fabricante é o indicado para o aplanamento de olhos humanos (plataforma com 3,22 mm de diâmetro com um êmbolo de 1,02 mm de diâmetro (Reichert Ophthalmic Instruments, n.d.)) e considerando uma espessura corneana normal de aproximadamente 500 µm (Manent *et al.*, 2009; Johnson, 2010). Assim sendo as forças anteriormente mencionadas podem não ser equilibradas nos olhos dos animais. Foi já demonstrado para gatos que estes factores levam a que o Tono-Pen forneça valores de PIO inferiores aos obtidos por manometria (Miller *et al.*, 1991). Nas aves em questão neste trabalho encontra-se, por exemplo, para os Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*) uma espessura corneana de 155,82 µm e a sua comprovada interferência, juntamente com a curvatura corneana, nas medições realizadas com o Tono-Pen (Bayón *et al.*, 2006).

Dadas as variações inerentes a cada espécie na sua anatomia ocular, diferentes factores de calibração para os tonómetros existentes podem ser necessários para avaliar até que ponto, as medições realizadas nos diferentes animais fornecem dados precisos (Miller *et al.*, 1991). Desta forma, é legítimo que se recorram aos estudos manométricos para estabelecimento de rectas de correlação com os valores fornecidos pela tonometria, permitindo estimativas da PIO real. No entanto, numa situação clínica real, esta manipulação numérica poderá não ser necessária já que os clínicos que queiram averiguar alterações de PIO nas diferentes espécies estarão interessados em conhecer valores normais obtidos com os tonómetros desenhados para uso clínico, e não os valores absolutos obtidos pela manometria.

Os resultados obtidos neste trabalho, à semelhança de outros já realizados, ficam assim submetidos à variabilidade biológica dos sistemas vivos, pois não existe para cada, um instrumento ideal.

O Tono-Pen VET® (Reichert Technologies, 230635V, Nova Iorque, E.U.A.) está desenhado para realizar várias leituras da PIO, apresentando depois de 4 leituras válidas, um valor médio final que é exibido num mostrador de LCD juntamente com uma aproximação ao seu

desvio padrão (5%, 10%, 20% ou >20%). Segundo indicações do fabricante, medições que apresentem uma aproximação ao desvio padrão $\geq 20\%$ da média devem ser repetidas.

Em alguns estudos tonométricos anteriores a este (Ofri *et al.*, 1998; Korbel & Braun, 1999; Jeong *et al.*, 2007) constatou-se que os autores preferiam incluir nos seus resultados apenas valores com uma aproximação ao desvio padrão de 5%. No entanto, num cenário clínico diário, o comum será respeitar as indicações do fabricante do instrumento, aceitando por isso valores com uma aproximação ao desvio padrão até 10%. Assim sendo, neste trabalho optou-se por usar este desvio padrão como um parâmetro de qualidade em que apenas as medições com $\geq 20\%$ seriam descartadas.

No início da recolha dos dados a autora deparou-se com algumas leituras inválidas, bem como uma certa dificuldade para obtenção de 4 medições consecutivas de PIO. Um dos factores que contribuiu para tal foi a inadvertida indentação da córnea em algumas tentativas, a qual fornecia valores extremamente elevados de PIO com aproximações ao desvio padrão $\geq 20\%$, ou não chegava sequer a permitir a obtenção de um valor.

Com o tonómetro de aplanamento existe uma tendência negativa para exercer sobre a córnea mais pressão do que o necessário, especialmente quando se trata de aplicá-lo a olhos de pequenas dimensões e não se encontra uma postura confortável para apoio do braço que permita manter a estabilidade da mão. Embora não seja um instrumento de difícil utilização, foi possível verificar empiricamente que é sensível e requer um pouco de prática antes de se adquirir a precisão necessária para apenas efectuar toques superficiais sobre a córnea.

Efectivamente, após analisar as distribuições dos desvios padrões das médias das medições realizadas ao longo de 4 dias nos Peneireiros das torres (*Falco naumanni*) representadas graficamente na Figura 27, verifica-se que no primeiro dia de medições a dispersão dos dados foi máxima, tendendo a diminuir nos dias seguintes e aparentemente estabilizando. Confirmou-se inclusivamente, a existência de uma diferença significativa dos valores dos desvios padrões do primeiro dia em relação aos outros. Provavelmente, se a tonometria tivesse sido realizada durante mais dias talvez fosse possível observar uma dispersão de dados ainda mais pequena com a sua progressão.

Estas observações levam a propôr, que na prática clínica, talvez seja ideal manter um utilizador como responsável pela realização da tonometria para evitar possíveis flutuações na obtenção de valores e, mais ainda num hospital de fauna selvagem onde a variedade de animais e respectivos globos oculares é extraordinária.

Na Tabela 3 apresentam-se a média, desvio padrão e valores mínimos e máximos de PIO obtidos para as duas espécies examinadas neste estudo. Trabalhos anteriores foram realizados apenas para a espécie *Falco tinnunculus* o que permite, até certo ponto, ter uma noção de normalidade através da coincidência dos valores obtidos (Tabela 5).

Tabela 5. Valores de PIO obtidos para exemplares da espécie Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*), por diferentes autores e respectivos tonómetros.

Autor	Tonómetro	n (olhos)	PIO (mmHg)
Korbel & Braun, 1999	Tono-Pen XL [®]	12	13,70 ± 1,8
Bayón <i>et al.</i>, 2006	Tono-Pen XL [®]	14	18,59 ± 6,74
Bayón <i>et al.</i>, 2006	TonoVet [®]	14	10,00 ± 1,62
Reuter, 2009	TonoVet [®]	56	11,6 ± 2,7
Presente estudo	Tono-Pen VET [®]	22	13,9 ± 3,5

Uma vez comparados os resultados obtidos neste trabalho com aqueles já publicados, com tonómetros semelhantes, verifica-se que se aproximam francamente dos de Korbel e Braun (1999) mas que se desviam dos de Bayón *et al.* (2006). Os três estudos foram realizados sob condições experimentais muito semelhantes, no entanto algumas diferenças podem estar na base da divergência dos resultados. Uma das diferenças relaciona-se com o facto de no estudo de Bayón *et al.* (2006) não se conhecer o intervalo de horas em que foi realizada a tonometria. Korbel e Braun (1999) realizaram no seu trabalho medições tonométricas entre as 8 e as 12 horas e, no presente estudo, foram também efectuadas no período da manhã, embora entre as 10 e as 13 horas, aspecto que pode ajudar a co-substanciar os resultados.

Há já algum tempo que se sabe que a PIO demonstra um ritmo circadiano em algumas espécies, incluindo o Homem (Frampton, Da Rin & Brown, 1987), o cão (Piccione, Giannetto, Fazio & Giudice, 2010), o gato (Del Sole, Sande, Bernades, Aba & Rosenstein, 2007), o coelho (Katz, Henkind & Weitzman, 1975), o rato (Moore, Johnson & Morrison, 1996) e a galinha (Nickla, Wildsoet & Wallman, 1998). Nas espécies diurnas como o Homem, cão e galinha a PIO tende a ser mais elevada, com picos durante o dia e mais baixa pela noite, passando-se o contrário para o rato, gato e coelho, os quais têm hábitos predominantemente nocturnos. Embora se desconheça o comportamento do referido ritmo para os Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*), o horário em que se desenvolveram as medições de Bayón *et al.* (2006) pode ter influenciado os seus valores, levando à flutuação verificada.

Para além do referido, outras fontes de variabilidade nos resultados podem ser a realização da tonometria por diferentes utilizadores e a própria calibração do tonómetro não ser a mais adequada.

Apresentam-se ainda na tabela 5, valores de PIO obtidos com o tonómetro de impacto TonoVet[®], verificando-se que são consideravelmente mais baixos que os obtidos por aplanamento. Estes dados indicam que os valores fisiológicos das diferentes espécies devem ser determinados para cada tipo de tonómetro considerando as especificações e

particularidades de cada instrumento, não sendo possível extrapolar valores de um método tonométrico para outro, sob risco de cometer graves erros de diagnóstico.

No que diz respeito à espécie Peneireiro das torres (*Falco naumanni*) não se conhecem nenhuns estudos realizados explorando a sua PIO. Ao contrário do Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*), tem sido uma ave com um precário estatuto de conservação, o qual até recentemente, estava classificado como “vulnerável”. Esta espécie sofreu um rápido declínio na Europa ocidental, equivalente a 46% em cada década desde 1950; nos seus terrenos de hibernação na África do Sul, equivalente a 25% em cada década desde 1971 e possivelmente, também em partes da Ásia. No entanto, factos recentes indicam que a população atingiu uma tendência estável, a ligeiramente positiva, durante as últimas três gerações (estimadamente 17 anos), o que lhe valeu uma mudança de estatuto para “menor importância”. É graças a uma série de acções concertadas executadas por vários países, dos quais fazem parte Portugal e Espanha, que estas aves têm visto a sua população ser restaurada (BirdLife International, 2011).

Desta forma, é possível compreender a escassez de estudos médicos realizados sobre estes animais. Não é comum a possibilidade de ter acesso a números tão elevados de exemplares desta espécie senão em locais como o GREFA, o qual colabora fortemente para a sua conservação e mantém uma colecção considerável para criar em cativeiro, pelo qual se considerou única a oportunidade de realização deste estudo.

Como resultado da exploração desta espécie foi possível obter um valor fisiológico médio (\pm DP) de PIO correspondente a $11,4 \pm 2,7$ mmHg. Embora não seja muito díspar daquele obtido para os Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*) verificou-se que as PIOs entre as duas espécies diferem significativamente ($P=0,017$).

É complicado assumir que a PIO possa ser determinada filogeneticamente. Por exemplo, entre o Órix cimitarra (*Oryx dammah*) e o Gnu de cauda branca (*Connochaetes gnou*), ambos pertencentes à sub família *Hiopotraginae*, não se verificaram diferenças significativas nas suas PIOs ($P=0,14$) (Ofri *et al.*, 2002), no entanto estas existem entre o referido Órix e o Órix-da-Arábia (*Oryx leucoryx*) ($P=0,04$) (Ofri *et al.*, 1998), duas espécies francamente relacionadas.

Aparentemente também dentro da família *Falconidae* não é possível admitir que a PIO dependa da filogenia, sugerindo que cada espécie deve ser considerada como um caso isolado no que diz respeito à determinação dos seus parâmetros biológicos.

Possíveis factores oculares que justifiquem a verificada variabilidade poderão relacionar-se com diferenças anatómicas e fisiológicas do corpo ciliar e vias de drenagem do humor aquoso. Uma outra potencial fonte de variação é a anatomia corneana. Normalmente, PIOs mais elevadas são obtidas em córneas mais espessas, as quais consequentemente apresentam uma maior rigidez e requerem uma força aposicional de aplanamento mais elevada (Schneider, Kanngiesser & Kniestedt, 2006). Seria por isso interessante avaliar a

espessura corneana em ambas as espécies e compará-las com os valores de PIO obtidos elucidando o efeito da anatomia corneana na tonometria nos diferentes animais.

Para além de características oculares, devem considerar-se os efeitos de particularidades das espécies no que diz respeito a parâmetros fisiológicos sistémicos como por exemplo, pressão sanguínea, hematócrito (Klein, Klein & Linton, 1992) e níveis da hormona do crescimento (Kass & Sears, 1977), para os quais existem evidências em como afectem a PIO em humanos mas que, para as espécies aqui discutidas, infelizmente não existem dados.

Mais que a demonstrada variabilidade existente entre espécies, os resultados obtidos revelam ainda, que à semelhança da maioria dos parâmetros biológicos, a PIO pode assumir um intervalo de valores considerável dentro das espécies. Qualquer clínico lidando habitualmente com tonometria em cães e gatos, tem como orientação, que os valores considerados como normais para estes animais, rondam os 10 a 20 mmHg (Maggs, 2008), no entanto, uma variação significativa existe entre indivíduos. Gelatt e MacKay (1998) puderam demonstrá-la, verificando que, em cães normais, utilizando o Tono-Pen, os valores assumidos pela PIO iam desde 4 a 42 mmHg.

Também no presente trabalho foram obtidos intervalos de PIO amplos mas que representam importantes directrizes para a interpretação de dados no quotidiano clínico. Não obstante, aquando da medição da PIO nos dois olhos do mesmo paciente, o clínico deve ter em mente que o próprio animal serve como indicador de uma PIO normal, por comparação entre ambos os olhos. Isto é, a avaliação da normalidade da PIO deverá ter em conta o intervalo normal para a espécie e uma variação individual do próprio animal.

A análise estatística realizada demonstrou que, não se verificaram diferenças significativas nos valores de PIO entre olho direito e esquerdo em nenhuma das espécies em estudo. Uma vez que o olho pelo qual se iniciou a tonometria foi escolhido aleatoriamente e os animais se encontravam em decúbito dorsal, não se justificaria uma diferença significativa entre ambos os olhos. No entanto, é importante considerar situações na clínica onde os animais sejam colocados em decúbito lateral (como por exemplo anestesia para simples contenção ou para intervenção cirúrgica) e um dos olhos se mantenha por tempo prolongado do lado deste decúbito. Devido ao aumento de pressão transitório aplicado sobre esse globo ocular, é provocada uma drenagem forçada do humor aquoso, diminuindo a PIO (Kern, 1997), o que leva à sua subestima, tornando importante que se evite a tonometria nestas ocasiões.

Também ao analisar o efeito da repetição na PIO, ou seja, da primeira, segunda e terceira medições tonométricas consecutivas realizadas em cada olho, a estatística não revelou qualquer diferença significativa entre elas. À semelhança do verificado noutros estudos (Miller *et al.*, 1991; Stiles *et al.*, 1994; Ofri *et al.*, 1998; Ofri *et al.*, 2002), este resultado vem demonstrar que a utilização repetida do tonómetro não provocou sobre a PIO um efeito

tonográfico. Uma vez que a ponta do tonómetro apresenta pequenas dimensões, não provoca sobre o olho alterações de pressão significativas, para cumulativamente desencadear o mecanismo dependente da pressão, que é o fluxo de saída do humor aquoso através do ligamento pectinado (Shields, 1987, citado por Miller *et al.*, 1991).

Relativamente à relação entre sexos e PIO, a análise estatística revelou, para ambas espécies, que não existiam diferenças significativas entre machos e fêmeas, $P=0,986$ e $P=0,515$, para Peneireiros das torres (*Falco naumannii*) e Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*), respectivamente.

No que diz respeito à interferência da idade nos valores de PIO também não se encontraram diferenças significativas entre adultos e subadultos. Korbelt e Braun (1999) publicaram no seu trabalho valores inferiores para juvenis de Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*) àqueles obtidos para quaisquer subadultos de ambas as espécies abordadas neste trabalho. Também para juvenis de Ganso-bravo (*Anser anser*) e Pato-do-mato (*Cairina moschata*) os referidos autores encontraram o mesmo padrão de PIO. Esta evolução na PIO de juvenis para adultos pode atribuir-se ao desenvolvimento do globo ocular e alterações nas suas propriedades biomecânicas, particularmente na sua túnica fibrosa. Nos humanos, está demonstrado que a rigidez ocular aumenta com a idade e, como já foi exposto antes, este aumento de rigidez traduz-se numa maior PIO (Pallikaris, Kymionis, Ginis, Kounis & Tsilimbaris, 2005).

Muito provavelmente, a distribuição de idades dos animais utilizados neste estudo, não permita observar estas variações pela sua amplitude e pequeno número de indivíduos (por exemplo apenas uma ave adulta com 7 anos de idade). Para além disto, não é possível saber com que idade a córnea destes animais adquire as características próximas da córnea dos adultos. Sabendo-se que em galinhas, a sua córnea parece atingir a espessura da de um indivíduo adulto em apenas 70 dias de idade (Montiani-Ferreira *et al.*, 2004), nos Peneireiros tal pode ocorrer antes dos 7 meses, idade aproximada dos animais mais novos que integraram este estudo.

A utilização de animais com outras idades e onde estas estejam melhor delimitadas poderá, em futuros estudos, resultar em outras conclusões.

Sabe-se que o Tono-Pen VET[®] (*Reichert Technologies*, 230635V, Nova Iorque, E.U.A.) está perfeitamente adaptado para funcionar no ambiente clínico, tendo-se já verificado que é um instrumento de extrema utilidade. No entanto, poderão os utilizadores deste tonómetro tirar um maior proveito da sua portabilidade levando-o além da clínica, aplicando-o a uma maior variedade de situações?

Segundo o fabricante deste aparelho ele deve funcionar entre uma gama de temperaturas (22-28°C), às quais deve ser exposto pelo menos 30 minutos antes de ser utilizado. Neste trabalho procurou utilizar-se o tonómetro no exterior da clínica, submetendo-o a uma temperatura de 7°C. Embora apenas 5 aves tenham sido objecto da tonometria sob esta

temperatura, ao comparar estatisticamente os seus valores de PIO, e os dos indivíduos examinados no interior a 22°C, verificou-se existir uma pequena diferença significativa entre elas ($P=0,047$). De facto, durante a aquisição das medidas nestes animais, a utilizadora deparou-se com grandes flutuações nos valores de PIO de um mesmo olho.

Seria interessante averiguar, de uma forma mais alargada, a possibilidade de funcionamento do Tono-Pen VET® (*Reichert Technologies*, 230635V, Nova Iorque, E.U.A.) em limites térmicos mais amplos permitindo a sua utilização em situações de campo, frequentes para o clínico de fauna selvagem, evitando o deslocamento dos animais até à clínica.

Capítulo 6. Conclusão

No presente estudo apresentaram-se dados sobre a pressão intraocular de duas espécies de aves de rapina diurnas, o Peneireiro comum (*Falco tinnunculus*) e o Peneireiro das torres (*Falco naumanni*) recorrendo ao tonómetro de aplanamento Tono-Pen VET® (*Reichert Technologies*). Os valores médios (\pm DP) de PIO obtidos foram de $13,9 \pm 3,5$ e $11,4 \pm 3,4$ mmHg respectivamente.

No caso dos Peneireiros comuns (*Falco tinnunculus*), os resultados obtidos são corroborados pelos de estudos anteriores, já no que diz respeito aos Peneireiros das torres (*Falco naumanni*) eles são inéditos para a espécie.

Do conjunto de dados analisados destacam-se ainda as diferenças significativas encontradas entre as PIOs das duas espécies em questão, bem como de aspectos relacionados com a técnica tonométrica tais como a temperatura a que esta é realizada ou a prática do utilizador na leitura da PIO. Todos estes aspectos devem, por isso, ser considerados sempre que se queira aplicar a tonometria como um método de diagnóstico.

Embora não se tenham identificado interferências significativas na PIO de factores como sexo e idade, posteriores estudos confiando numa mais profunda exploração de parâmetros fisiológicos que possam influenciar a PIO ou com recurso a outras técnicas de diagnóstico oftalmológico, que permitam evidenciar microalterações em estruturas como o corpo ciliar ou córnea (as quais até hoje podem permanecer ocultas), poderão esclarecer se estas efectivamente existem ou não.

Os resultados obtidos neste trabalho vêm também realçar a importância da determinação de valores basais estimados de PIO nas diferentes espécies, recorrendo aos novos tonómetros disponíveis no mercado, já que a manometria, embora seja o único método para medição da PIO real, não tem utilidade prática clínica. Para além disso, estes já demonstraram a sua utilidade pela facilidade de utilização e portabilidade, bem como uma boa aceitação pelos animais estudados.

Perspectivas futuras sobre a evolução da oftalmologia aviária, nomeadamente de aves selvagens, poderão culminar com o fabrico de um tonómetro que se adapte mais às necessidades destes animais e que permita, juntamente com outros trabalhos de investigação, contribuir para o seu diagnóstico rotineiro de patologia da PIO, ajudando na conservação do sistema orgânico mais importante que possuem.

Capítulo 7. Referências Bibliográficas

- Abrams, L.S., Vitale, S. & Jampel (1996). Comparison of three tonometers for measuring intraocular pressure in rabbits. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 37(5), 940-944.
- Akram, A., Yaqub, A. & Dar, A.J. (2009). Pitfalls in intraocular pressure measurement by Goldmann-type applanation tonometers. *Pakistan Journal of Ophthalmology*, 25(4).
- Alguire, P.C. (1990). Tonometry. In Walker, H.K., Hall, W.D. & Husrt, J.W. (Eds.), *Clinical methods: the history, physical, and laboratory examinations* (3rd Ed.) (pp.581-584). Boston: Buttherworths.
- Almurab, T.M. & Ogbuehi, K.C. (2007). Clinical investigation of the effect of topical anesthesia on intraocular pressure. *Clinical Ophthalmology*, 1(3), 305-309.
- Altunay, H. & Kozlu, T. (2004). The fine structure of the Harderian gland in the ostrich (*Struthio camelus*). *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 33, 141-145.
- Amigo, G. (1967). The Maklakoff applanation tonometer [abstract]. *The Australian Journal of Optometry*, 50 (4), 92-96.
- Aminlari, A. & Callahan, C.E. (2004). Medical, laser, and surgical management of inadvertent cyclodialysis cleft with hipotony. *Archives of Ophthalmology*, 122(3), 399-404.
- Anderson, D.R. & Grant, W.M. (1970). Re-evaluation of the Schiotz tonometer calibration. *Investigative Ophthalmology*, 9 (6), 430-446.
- Baumel, J.J. & Witmer, L.M. (1993). Osteologia. In J.J. Baumel (Ed.), *Handbook of avian anatomy: nomina anatomica avium* (2nd Ed.) (pp.45-132). Cambridge, Massachusetts: The Nuttal Ornithological Club, No. 23.
- Bayón, A., Almela, R.M. & Talavera, J. (2007). Avian ophthalmology. *European Journal of Companion Animal Practice*, 17(3), 253-266.
- Bayón, A., Vecino, E., Albert, A., Almela, R., Cozzi, A., Talavera, J. & Fernández del Palacio, M.J. (2006). Evaluation of intraocular pressure obtained by two tonometers and their correlations with corneal thickness obtained by pachymetry in raptors [abstract]. *Veterinary Ophthalmology*, 9(6), 426-434.
- Beldomenico, P.M. (2006). Medicina y animales silvestres: desafío para las ciencias veterinarias en el siglo XXI. *Revista FAVE – Ciencias Veterinarias*, 5(1-2), 7-20.
- Benjamini, Y. & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society*, 57(1), 289-300.
- Bill, A. (1973). The role of ciliary blood flow and ultrafiltration in aqueous humor formation [abstract]. *Experimental Eye Research*, 16(4), 287-298.
- BirdLife International (2008). State of the world's birds: indicators for our changing world. Cambridge, UK: BirdLife International.
- BirdLife International (2011). Species factsheet: *Falco naumanni*. Acedido em Abr. 24, 2011. Disponível em: <http://www.birdlife.org/datazone/speciesfactsheet.php?id=3589>

- Boothe, W.A., Lee, D.A., Panek, W.C. & Pettit, T.H. (1988). The Tono-Pen, a manometric and clinical study. *Archives of Ophthalmology*, 106, 1214-1217.
- Bortolotti, G.R., Smits, J.E & Bird, D.M. (2003). Iris colour of american kestrels varies with age, sex and exposure to PCBs. *Physiological and Biochemical Zoology*, 76(1), 99-104.
- Brach, V. (1975). The effect of intraocular ablation of the pecten oculi of the chicken [abstract]. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. 14(2), 166-168.
- Brach, V. (1977). The functional significance of the avian pecten: a review. *The Condor*, 79, 321-327.
- Braekevelt, C.R. (1993). Fine structure of the pecten oculi in the great horned owl (*Bubo virginianus*), *Histology and Histopathology*, 8, 9-15.
- Braekevelt, C.R. (1994). Fine structure of the pecten oculi in the american crow (*Corvus brachyrhynchos*) [abstract]. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 23(4), 357-366.
- Breazile, J.E. & Kuenzel, W.J. (1993). Systema nervosum central. In J.J. Baumel (Ed.), *Handbook of avian anatomy: nomina anatomica avium* (2nd Ed.) (pp.493-554). Cambridge, Massachusetts: The Nuttall Ornithological Club, No. 23.
- Brooks, D.E. (1997). Avian cataracts. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine*, 6(3), 131-137.
- Buyukmihci, N.C., Murphy, C.J. & Schulz, T. (1988). Developmental ocular disease of raptors. *Journal of Wildlife Diseases*, 24(2), 207-213.
- Cho, P. & Brown, B. (1995). The effect of benoxinate on the tear stability of Hong Kong-Chinese. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 15(4), 299-304.
- Cohan, B.E. & Bohr, D.F. (2001). Goldmann applanation tonometry in the conscious rat. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 42(2), 340-342.
- Collins, B.K. & Moore, C.P. (1999). Diseases and surgery of the canine anterior uvea. In K.N. Gelatt (Ed.), *Veterinary ophthalmology* (3rd Ed.) (pp. 756-795). Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins.
- Cooper, J.E. (Ed.) (2002). *Birds of prey: health & disease*. (3rd Ed.). Oxford: Blackwell Ltd, Blackwell Publishing.
- Coster, M.E., Stiles, J., Krohne, S.G. & Raskin, R.E. (2008). Results of diagnostic ophthalmic testing in healthy guinea pigs [abstract]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 232(12), 1825-1833.
- Cunningham, A.J. & Barry, P. (1986). Intraocular pressure – physiology and implications for anaesthetic management. *Canadian Anaesthetists' Society Journal*, 33(2), 195-208.
- Curtis, E.L. & Miller, R.C. (1938). The sclerotic ring in north american birds. *The Auk*, 55, 225-243.
- Dabasia, P. (2006). Contact applanation tonometry. *Optician*, 231(6042), 32-39.
- Davies, L.N, Bartlett, H., Mallen, E.A. & Wolffsohn, J.S. (2006). Clinical evaluation of rebound tonometer. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 84, 206-209.

- De Stefano, M.E. & Mugnaini, E. (1997). Fine structure of the choroidal coat of the avian eye: lymphatic vessels. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 38(6), 1241-1260.
- Del Sole, M.J., Sande, P.H., Bernades, J.M., Aba, M.A. & Rosenstein, R.E. (2007). Circadian rhythm of intraocular pressure in cats. *Veterinary Ophthalmology*, 10(3), 155-161.
- Dietrich, U. (2005). Feline glaucomas. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, 20(2), 108-116.
- Draeger, J. (1967) Principle and clinical application of a portable applanation tonometer. *Investigative Ophthalmology*, 6(2), 132-134.
- Ehinger, B. (1967). Adrenergic nerves in the avian eye and ciliary ganglion [abstract]. *Cell and Tissue Research*, 82(4), 577-588.
- Evans, H.E. & Martin, G.R. (1993). Organa sensuum. In J.J. Baumel (Ed.), *Handbook of avian anatomy: nomina anatomica avium* (2nd Ed.) (pp.585-611). Cambridge, Massachusetts: The Nuttall Ornithological Club, No. 23.
- Fine, H.F., Biscette, O., Chang, S. & Schiff, W.M. (2007). Ocular hypotony: a review [abstract]. *Comprehensive Ophthalmology Update*, 8(1), 29-37.
- Fox, J. (2011). *Rcmdr: R Commander*. R package version 1.6-4. URL <http://CRAN.R-project.org/package=Rcmdr>
- Fox, R., Lehmkuhle, S.W. & Westendorf, D.H. (1976). Falcon visual acuity [abstract]. *Science*, 192(4236), 263-265.
- Frampton, P., Da Rin, D. & Brown, B. (1987). Diurnal variation of intraocular pressure and the overriding effects of sleep [abstract]. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 64(1), 54-61.
- Garamszegi, L.Z., Møller, A.P. & Erritzøe, J. (2002). Coevolving avian eye size and brain size in relation to prey capture and nocturnality. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 269, 961-967.
- Gelatt, K.N. (Ed.) & Brooks, D.E. (1999). The canine glaucomas. In K.N. Gelatt (Ed.), *Veterinary ophthalmology* (3rd Ed.) (pp. 701-754). Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins.
- Gelatt, K.N. & Gum, G.G. (1981). Evaluation of electronic tonometers in the rabbit eye [abstract]. *American Journal of Veterinary Research*, 42(10), 1778-1781.
- Gelatt, K.N. & Mackay, E.O. (1998). Distribution of intraocular pressure in dogs. *Veterinary Ophthalmology*, 1, 109-114.
- Gelatt, K.N., Peiffer, R.L., Gum, G.G., Gwin, R.M. & Erickson, J.L. (1977). Evaluation of applanation tonometers for the dog eye. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 16(10), 963-968.
- Glasser, A. & Howland, H.C. (1996). A history of studies of visual accommodation in birds. *The Quarterly Review of Biology*, 71(4), 475-509.
- Glasser, A., Pardue, M.T., Andison, M.E. & Sivak, J.G. (1997). A behavioral study of refraction, corneal curvature, and accommodation in raptor eyes. *Canadian Journal of Zoology*, 75, 2010-2020.

- Goel, M., Picciani, R.G., Lee, R.K. & Bhattacharya, S.K. (2010). Aqueous humor dynamics: a review. *The Open Ophthalmology Journal*, 4, 52-59.
- Görig, C., Coenen, R.T., Stades, F.C., Djajadiningrat-Laanen, S.C. & Boevé, M.H. (2006). Comparison of the use of new handheld tonometers and established applanation tonometers in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 67(1), 134-144.
- Görig, C., Schoemaker, N.J., Stades, F.C. & Boevé, M.H. (2005). Evaluation of different tonometers in exotic animals. *Veterinary Ophthalmology*, 8(6), 427-436.
- Green, K. & Pederson, J.E. (1972). Contribution of secretion and filtration to aqueous humor formation [abstract]. *American Journal of Physiology*, 222(5), 1218-1226.
- Groskin, R. (1994). Avian conservation: the veterinarian's role. In B.W. Ritchie, G.J. Harrison & R.L. Harrison (Eds.), *Avian medicine: principles and application* (pp.17-23). Lake Worth, Florida: Wingers Publishing.
- Gum, G., Gelatt, K.N. (Ed.) & Ofri, R. (1999). Physiology of the eye. In K.N. Gelatt (Ed.), *Veterinary ophthalmology* (3rd Ed.) (pp.151-182). Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins.
- Gum, G.G., Gelatt, K.N., Miller, D.N. & Mackay, E.O. (1998). Intraocular pressure in normal dairy cattle. *Veterinary Ophthalmology*, 1(2-3), 159-161.
- Güntürkün, O. (2000). Sensory physiology: vision. In G.C. Whittow (Ed.), *Sturkie's avian physiology* (5th Ed.) (pp.1-20). London, England: Academic Press.
- Harris, M.C., Schorling, J.J., Herring, I.P., Elvinger, F., Bright, P.R. & Pickett, J.P. (2008). Ophthalmic examination findings in a colony of Screech owls (*Megascops asio*). *Veterinary Ophthalmology*, 11(3), 186-192.
- Hessemer, V., Rössler, R. & Jacobi, K.W. (1989). Tono-Pen, a new tonometer [abstract]. *International Ophthalmology*, 13, 51-56.
- Hodos, W. (1993). The visual capabilities of birds. In H.P. Zeigler & H. Bischof (Eds.), *Vision, brain and behavior in birds* (pp.63-76). London, England: The MIT Press.
- Hodos, W., Miller, R.F. & Fite, K.V. (1991). Age-dependent changes in visual acuity and retinal morphology in pigeons [abstract]. *Vision Research*, 31(4), 669-677.
- Hughes, J.T., Jerrome, D. & Krebs, H.A. (1972). Ultrastructure of the avian retina an anatomical study of the retina of the domestic pigeon (*Columba livia*) with particular reference to the distribution of mitochondria [abstract]. *Experimental Eye Research*, 14(3), 189-190.
- iCare Finland Oy (2008) *iCARE Tonometer Vet user's and maintenance manual*. Acedido em Mar. 31, 2011, disponível em: http://www.icaretonometer.com/uploads/manuals/VET%20manuals/lcare_VET_manual_low_res.pdf
- Jain, M.R. & Marmion, V.J. (1977). Clinical comparative pressure studies with Goldmann; Mackay-Marg and Pneumatic applanation tonometers. *Indian Journal of Ophthalmology*, 25(3), 29-35.
- James, B. & Benjamin, L. (Eds.) (2007). *Ophthalmology investigation and examination techniques*. Philadelphia: Butterworth Heinemann, Elsevier.

- Jeong, M.B., Kim, Y.J., Yi, N.Y., Park, S.A., Kim, W.T., Kim, S.E., Chae, J.M., Kim, J.T., Lee, H. & Seo, K.M. (2007). Comparison of the rebound tonometer (TonoVet®) with the applanation tonometer (TonoPen XL®) in normal Eurasian Eagle owls (*Bubo bubo*). *Veterinary Ophthalmology*, 10(6), 376-379.
- Johnson, M.E. (2010). Contact tonometry. *Optician*, module C13120, 20-32.
- Jones, M.P., Pierce, K.E. & Ward, D. (2007). Avian vision: a review of form and function with special consideration to birds of prey. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 16(2), 69-87.
- Karp, N.A. (2010). *R commander an introduction*. Cambridge. Acedido em Jul. 4, 2011. Disponível em: <http://cran.r-project.org/doc/contrib/Karp-Rcommander-intro.pdf>
- Kass, M.A. & Sears, M.L. (1977). Hormonal regulation of intraocular pressure [abstract]. *Survey of Ophthalmology*, 22(3), 153-176.
- Katz, R.S., Henkind, P. & Weitzman, E.D. (1975). The circadian rhythm of the intraocular pressure in the New Zealand White rabbit [abstract]. *Investigative Ophthalmology*, 14(10), 775-780.
- Katzir, G. & Howland, H.C. (2003). Corneal power and underwater accommodation in great cormorants (*Phalacrocorax carbo sinensis*). *The Journal of Experimental Biology*, 206, 833-841.
- Kern, T.J. (1997). Disorders of the special senses. In Altman, R.B., Clubb, S.L., Dorrestein, G.M., Quesenberry, K. (Eds.), *Avian Medicine and Surgery* (pp. 563-589). Pennsylvania: W.B. Saunders Company.
- Kiama, S.G., Bhattacharjee, J., Maina, J.N. & Weyrauch, K.D. (1994). A scanning electron microscope study of the pecten oculi of the back kite (*Milvus migrans*): possible involvement of melanosomes in protecting the pecten against damage by ultraviolet light. *Journal of Anatomy*, 185, 637-642.
- Kiama, S.G., Maina, J.N., Bhattacharjee, J., Mwangi, D.K., Macharia, R.G. & Weyrauch, K.D. (2006). The morphology of the pecten oculi of the ostrich, *Struthio camelus*. *Annals of Anatomy*, 188, 519-528.
- Kiama, S.G., Maina, J.N., Bhattacharjee, J. & Weyrauch, K.D. (2001). Functional morphology of the pecten oculi in the nocturnal spotted eagle owl (*Bubo bubo africanus*), and the diurnal black kite (*Milvus migrans*) and the domestic fowl (*Gallus gallus var. domesticus*): a comparative study [abstract]. *Journal of Zoology*, 254(4), 521-528.
- Kinnear, A., Lauber, J.K. & Boyd, T.A. (1974). Genesis of light-induced avian glaucoma. *Investigative Ophthalmology*, 13, 872-875.
- Klein, B.E., Klein, R. & Linton, K.L. (1992). Intraocular pressure in an american community. The Beaver Dam eye study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 33(7), 2224-2228.
- Kniestedt, C., Punjabi, O., Lin, S. & Stamper, R.L. (2008). Tonometry through the ages. *Survey of Ophthalmology*, 53(6), 568-591.
- Knollinger, A.M., La Croix, N.C., Barrett, P.M. & Miller, P.E. (2005). Evaluation of a rebound tonometer for measuring intraocular pressure in dogs and horses [abstract]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 227(2), 244-248.

- Kontiola, A. (1997). A new electromechanical method for measuring intraocular pressure. *Documenta Ophthalmologica*, 93, 265-276.
- Kontiola, A. (2000). A new induction-based impact method for measuring intraocular pressure. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 78, 142-145.
- Korbel, R. (1993). Tonometry in avian ophthalmology. *Journal of the Association of Avian Veterinarians*, 7, 44.
- Korbel, R. & Braun, J. (1999). Tonometrie beim Vogel mit dem Tonopen® XL. *Tierärztliche Praxis Ausgabe Kleintiere Heimtiere*, 27(3), 208-217.
- Korbel, R., Reese, S. & Hegner, K. (1998). Anatomical and clinical examination of the iridocorneal angle (gonioscopy) and the ciliary body in various bird species. *Proceedings of the 2nd Conference of European Association of Zoo and Wildlife Veterinarians (EAZWV)*, Chester, United Kingdom, 21-24 May 1998, pp. 329-342.
- Korbel, R.T. (1998). Air sac perfusion anaesthesia (APA). An anaesthetic procedure for surgery in the head area and for ophthalmoscopy in birds – a practical guideline. *Vet Observ. Acedido em Mai. 29, 2011. Disponível em: <http://www.bensonmedical.ca/pdf/CookProNews/Vet11982.pdf>*
- Lauber, J.K. (1987). Light-induced avian glaucoma as an animal model for human primary glaucoma. *Journal of Ocular Pharmacology*, 3(1), 77-100.
- Leopold, A. (1949). *A sand county almanac and sketches here and there*. Oxford: Oxford University Press.
- Leopold, A. (1993). *Round river*. New York: Oxford University Press.
- Loerzel, S.M., Smith, P.J., Howe, A. & Samuelson, D.A. (2002). Vecuronium bromide, phenylephrine and atropine combinations as mydriatics in juvenile double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*). *Veterinary Ophthalmology*, 5(3), 149-154.
- Maggs, D.J. (Ed.) (2008). Basic Diagnostic Techniques. In Maggs, D.J., Miller, P.E, Ofri, R., Slatter, D.H. (Eds.), *Slatter's fundamentals of veterinary ophthalmology* (4th Ed.) (pp.81-106). St. Louis, Missouri: Saunders Elsevier.
- Manent, J.C., Arranz, M.A. & Arenas, J.L. (2009). Consideraciones sobre los principios físicos de la tonometria de aplanación. *Gaceta Óptica*, 442, 30-34.
- Mark, H.H. (2010). Aqueous humor dynamics in historical perspective. *Survey of Ophthalmology*, 55(1), 89-100.
- Martin, G.R. (1982). An owl's eye: schematic optics and visual performance in *Strix aluco*. *Journal of Comparative Physiology*, 145, 341-349.
- Martin, G.R. (1993). Producing the Image. In H.P. Zeigler & H. Bischof (Eds.), *Vision, brain and behavior in birds* (pp.5-24). London, England: The MIT Press.
- McFadden, S.A. (1993). The avian eye view. In H.P. Zeigler & H. Bischof (Eds.), *Vision, brain and behavior in birds* (pp.1-3). London, England: The MIT Press.
- Miller, M.A. (2010). The role of veterinarians in conservation medicine. *Proceedings of the Annual Western Veterinary Conference, Las Vegas, Nevada, 14-18 February 2010*. Acedido em Mai. 4, 2011. Disponível em: http://wvc.omnibooksonline.com/data/papers/2010_V729.pdf

- Miller, P.E. (Ed.) (2008a). Structure and function of the eye. In Maggs, D.J., Miller, P.E, Ofri, R., Slatter, D.H. (Eds.), *Slatter's fundamentals of veterinary ophthalmology* (4th Ed.) (pp.1-19). St. Louis, Missouri: Saunders Elsevier.
- Miller, P.E. (Ed.) (2008b). Uvea. In Maggs, D.J., Miller, P.E, Ofri, R., Slatter, D.H. (Eds.), *Slatter's fundamentals of veterinary ophtalmology* (4th Ed.) (pp.203-229). St. Louis, Missouri: Saunders Elsevier.
- Miller, P.E., Pickett, J.P. & Majors, L.J. (1990). Evaluation of two applanation tonometers in horses [abstract]. *American Journal of Veterinary Research*, 51(6), 935-937.
- Miller, P.E., Pickett, J.P., Majors, L.J. & Kurzman, I.D. (1991). Evaluation of two applanation tonometers in cats. *American Journal of Veterinary Research*, 52(11), 1917-1921.
- Montiani-Ferreira, F., Cardoso, F. & Petersen-Jones, S. (2004). Postnatal development of central corneal thickness in chicks of *Gallus gallus domesticus*. *Veterinary Ophthalmology*, 7(1), 37-39.
- Montiani-Ferreira, F., Mattos, B.C. & Russ, H.H. (2006). Reference values for selected ophthalmic diagnostic tests of the ferret (*Mustela putorius furo*). *Veterinary Ophthalmology*, 9(4), 209-213.
- Montiani-Ferreira, F., Petersen-Jones, S., Cassotis, N., Ramsey, D.T., Gearhart, P. & Cardoso, F. (2003). Early postnatal development of central corneal thickness in dogs. *Veterinary Ophthalmology*, 6(1), 19-22.
- Moodie, K.L., Hashizume, N., Houston, D.L., Hoopes, P.J., Demidenko, E., Trembly, B.S., Davidson, M.G. (2001). Postnatal development of corneal curvature and thickness in the cat. *Veterinary Ophthalmology*, 4(4), 267-272.
- Moore, C.G., Johnson, E.C. & Morrison, J.C. (1996). Circadian rhythm of intraocular pressure in the rat [abstract]. *Current Eye Research*, 15(2), 185-191.
- Moore, C.G., Milne, S.T. & Morrison, J.C. (1993). Noninvasive measurement of rat intraocular pressure with the Tono-Pen. *Investigative Ophthalmology*, 34(2), 363-369.
- Morrison, J.C. (Ed.), Freddo, T.F. & Toris, C.B. (2003). Anatomy and physiology of aqueous humor formation. In Morrison, J.C., Pollack, I.P. (Eds.), *Glaucoma: science and practice* (pp. 24-33). New York: Thieme.
- Moses, R.A, Marg, E. & Oechsli, R. (1962). Evaluation of the basic validity and clinical usefulness of the Mackay-Marg tonometer. *Investigative Ophthalmology*, 1(1), 78-85.
- Murphy, C.J. (1987). Raptor ophthalmology. *Compendium Small Animal*, 9(3), 241-260.
- Murphy, C.J., Kern, T.J., McKeever, K., McKeever, L. & MacCoy, D. (1982). Ocular lesions in free-living raptors. *Journal of American Veterinary Medical Association*, 181(11), 1302-1304.
- Narfström, K., Deckman, K.H. & Menotti-Raymond, M. (2011). The domestic cat as a large animal model for characterization of disease and therapeutic intervention in hereditary retinal blindness. *Journal of Ophthalmology*, 2011, 1-8.
- Nickla, D.L., Wildsoet, C. & Wallman, J. (1998). The circadian rhythm in intraocular pressure and its relation to diurnal ocular growth changes in chicks. *Experimental Eye Research*, 66, 183-193.

- O'Malley, B. (Ed.) (2005). *Clinical anatomy and physiology of exotic species*. UK: Elsevier Saunders.
- Ofri, R. (2002). Intraocular pressure and glaucoma. *The Veterinary Clinics Exotic Animal Practice*, 5, 391-406.
- Ofri, R., Horowitz, H. & Kass, P.H. (1998). Tonometry in three herbivorous wildlife species. *Veterinary Ophthalmology*, 1(1), 21-24.
- Ofri, R., Horowitz, I.H., Raz, D., Shvartsman, E. & Kass, P.H. (2002). Intraocular pressure and tear production in five herbivorous wildlife species. *Veterinary Record*, 151, 265-268.
- Oliphant, L.W. (1987). Pteridines and purines as major pigments of the avian iris [abstract]. *Pigment Cell Research*, 1(2), 129-131.
- Oliphant, L.W., Johnson, M.R., Murphy, C. & Howland, H. (1983). The musculature and pupillary response of the great horned owl iris [abstract]. *Experimental Eye Research*, 37(6), 583-595.
- Orosz, S.E. (1996). Principles of avian clinical neuroanatomy. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine*, 5(3), 127-139.
- Orosz, S.E. (2007). The special senses of birds. In B.H. Coles (Ed.), *Essentials of avian medicine and surgery* (3rd Ed.) (pp.22-39) Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Pallikaris, I.G., Kymionis, G.D., Ginis, H.S., Kounis, G.A. & Tsilimbaris, M.K. (2005). Ocular rigidity in living human eyes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46(2), 409-414.
- Pardue, M.T. (1996). *Functional anatomy of the ciliary muscle in birds and humans*. Ph.D. Thesis. Waterloo, Ontario, Canada: Vision Science and Biology, University of Waterloo.
- Passaglia, C.L., Guo, X., Chen, J. & Troy, J.B. (2004). Tono-Pen XL[®] calibration curves for cats, cows and sheep. *Veterinary Ophthalmology*, 7(4), 261-264.
- Pauli, A., Klauss, G., Diehl, K. & Redig, P. (2007). Clinical techniques: considerations for release of raptors with ocular disease. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 16(2), 101-103.
- Paul-Murphy, J. & Murphy, C.J. (1997). It's the same only different. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine*, 6(3), 107.
- Perkins, E.S. (1965). Hand-held applanation tonometer. *British Journal of Ophthalmology*, 49, 591-593.
- Piccione, G., Giannetto, C., Fazio, F. & Giudice, E. (2010). Influence of different artificial lighting regimes on intraocular pressure circadian profile in the dog (*Canis familiaris*). *Experimental Animals*, 59(2), 215-223.
- Pillunat, L.E., Kohlhaas, M., Böhm, A.G. & Spoerl, E. (2006). Effect of corneal thickness on applanation tonometry, pneumotonometry, and Tonopen measurements. In Grehn, F., Stamper, R. (Eds.), *Essentials in Ophthalmology: Glaucoma* (pp. 64-72). Leipzig, Germany: Springer.

- Piñeiro, C.J. & Bert, E. (2011). Valoración de las afectaciones al sistema visual de las aves. *REDVET*, 12(1), 1-41.
- Prashar, A., Guggenheim, J.A., Erichsen, J.T., Hocking, P.M. & Morgan, J.E. (2007). Measurement of intraocular pressure (IOP) in chickens using a rebound tonometer: quantitative evaluation of variance due to position inaccuracies. *Experimental Eye Research*, 85, 563-571.
- Priebs, D.R., Gum, G.G., Whitley, R.D. & Moore, L.E. (1990). Evaluation of three applanation tonometers in dogs [abstract]. *American Journal of Veterinary Research*, 51(10), 1547-1550.
- R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. URL <http://www.R-project.org/>
- Rayment, L.J. & Williams, D. (1997). Glaucoma in a captive-bred great horned owl (*Bubo virginianus virginianus*). *The Veterinary Record*, 140, 481-483.
- Reichert Ophthalmic Instruments (n.d.). *Tono-Pen Vet™ Tonometer user's guide*. Acedido em Fev. 2, 2010, disponível em: <http://www.danscottandassociates.com/files/Product%20Photos/GPP/Tonopen%20Manual.pdf>
- Renwick, P. (2002). Glaucoma. In Petersen-Jones, S., Crispin, S. (Eds.), *BSAVA manual of small animal ophthalmology* (2nd Ed.) (pp.185-203). Gloucester, England: British Small Animal Veterinary Association.
- Reuter, A. (2009). *Evaluation des Rebound-Tonometers TonoVet® für die Bestimmung des Augeninnendrucks bei Greifvögeln und Eulen*. Ph.D. Thesis. Berlin, Deutschland, Freien Universität Berlin.
- Reuter, A., Müller, K., Arndt, G. & Eule, J.C. (2010). Accuracy and reproducibility of the Tonovet® rebound tonometer in birds of prey. *Veterinary Ophthalmology*, 13(1), 80-85.
- Ribeiro, A.P., Ortiz, J.P., Vitaliano, S.N., Thiesen, R., Escobar, A., Belmonte, E.A., Laus, J.L. & Werther, K. (2007). Intraocular pressure evaluation in caracaras (*Polyborus plancus*) anesthetized with isoflurane or sevoflurane. *Proceedings of the European College of Veterinary Ophthalmologists and of the European Society of Veterinary Ophthalmology*, Genoa, Italy, 30 May – 3 June 2007, Acedido em Mar. 9, 2011. Disponível em: <http://www.ivis.org/proceedings/esvo/2007/62.pdf>
- Robert, Y.C. (2007). What do we measure with various techniques when assessing IOP?. *Survey of Ophthalmology*, 52(2), 105-107.
- Rusanen, E., Florin, M., Hässig, M. & Spiess, B.M. (2010). Evaluation of a rebound tonometer (Tonovet®) in clinically normal cat eyes. *Veterinary Ophthalmology*, 13(1), 31-36.
- Saggese, M.D. (2007). Medicina de la conservación, enfermedades y aves rapaces. *Hornero*, 22(2), 117-130.
- Samuelson, D. (1999). Ophthalmic anatomy. In K.N. Gelatt (Ed.), *Veterinary ophthalmology* (3rd Ed.) (pp. 31-150). Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins.

- Schneider, E., Kanngiesser, H.E. & Kniestedt, C. (2006). Dynamic contour tonometry. In Grehn, F., Stamper, R. (Eds.), *Essentials in Ophthalmology: Glaucoma* (pp. 46-63). Leipzig, Germany: Springer
- Schotman, T.B. (2006). The art of wildlife practice. *Proceedings of the North American Veterinary Conference, Orlando, Florida, 7-11 January 2006*, Small Animal Edition, 20, pp.1776-1778.
- Shimizu, T. & Karten, H.J. (1993). The avian visual system and the evolution of the neocortex. In H.P. Zeigler & H. Bischof (Eds.), *Vision, brain and behavior in birds* (pp.103-114). London, England: The MIT Press.
- Sivak, J.G. (2004). Through the lens clearly: phylogeny and development. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 45(3), 740-747.
- Sivak, J.G., Hildebrand, T. & Lebert, C. (1985). Magnitude and rate of accommodation in diving and nondiving birds [abstract]. *Vision Research*, 25(7), 925-933.
- Stiles, J., Buyukmihci, N.C. & Farver, T.B. (1994). Tonometry of normal eyes in raptors. *American Journal of Veterinary Research*, 55(4), 477-479.
- Strubbe, D.T. & Gelatt, K.N. (Ed.) (1999). Ophthalmic examination and diagnostic procedures. In K.N. Gelatt (Ed.), *Veterinary ophthalmology* (3rd Ed.) (pp.427-466). Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins.
- Stuckey, G.C. (2004). Application of physical principles in the development of tonometry. *Clinical and Experimental Ophthalmology*, 32, 633-636.
- Takatsuji, K., Sato, Y., Iizuka, S., Nakatani & H., Nakamura, A. (1986). Animal model of closed angle glaucoma in albino mutant quails. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 27(3), 396-400.
- Walls, G.L. (1942). *The vertebrate eye and its adaptive radiation*. Bloomfield Hills, Michigan: Cranbrook Institute of Science.
- Welnred, R.N., Brandt, J.D., Garway-Heath, D. & Medeiros, F. (Eds.) (2007). *Intraocular pressure*. Amsterdam, The Netherlands: Kugler Publications.
- Williams, D. (1994). Ophthalmology. In B.W. Ritchie, G.J. Harrison & R.L. Harrison (Eds.), *Avian medicine: principles and application* (pp.673-694). Lake Worth, Florida: Wingers Publishing.
- Williams, D.L., Villavincencio, C.M. & Wilson, S. (2006). Chronic ocular lesions in tawny owls (*Strix aluco*) injured by road traffic. *Veterinary Record*, 159, 148-153.
- Wood, C.A. (1908). The telltale eyes of birds. *The New York Time*. Published March 8. Acedido em Mar. 16, 2011. Disponível em: <http://query.nytimes.com/mem/archive-free/pdf?res=F00C16F7345A17738DDDA10894DB405B888CF1D3>
- Wood, C.A. & Fyfe, F.M. (Eds.) (1961). *The art of falconry by Frederick II of Hohenstaufen*. Stanford, California: Stanford University Press.
- Wynanski-Jaffe, T., Murphy, C.J., Smith, C., Kubai, M., Christopherson, P., Ethier, C.R. & Levin, A.V. (2007). Protective ocular mechanisms in woodpeckers. *Eye*, 21, 83-89.

Yamaguchi, Y., Watanabe, T., Hirakata, A. & Hida, T. (2006). Localization and ontogeny of aquaporin-1 and -4 expression in iris and ciliary epithelial cells in rats. *Cell and Tissue Research*, 325, 101-109.

Zeigler, H.P. & Bischof, H. (Eds.) (1993). *Vision, brain and behavior in birds*. London, England: The MIT Press.