

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA VETERINÁRIA**

**TONOMETRIA E ECOBIOMETRIA OCULAR EM  
TUCANO-TOCO (*Ramphastos toco*) E  
TUCANO-DE-BICO-VERDE (*Ramphastos dicolorus*)**

**TESE DE DOUTORADO**

**Pedro Rafael Apulcro Corrêa Marchan**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

**TONOMETRIA E ECOBIOMETRIA OCULAR EM TUCANO-  
TOCO (*Ramphastos toco*) E  
TUCANO-DE-BICO-VERDE (*Ramphastos dicolorus*)**

**Pedro Rafael Apulcro Corrêa Marchan**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, Área de Concentração em Cirurgia Experimental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Medicina Veterinária.**

**Orientador: Prof. Dr. Ney Luis Pippi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Marchan, Pedro Rafael Apulcro Corrêa  
Tonometria e ecobiometria ocular em Tucano-Toco  
(Ramphastos toco) e Tucano-de-Bico-Verde (Ramphastos  
dicolorus) / Pedro Rafael Apulcro Corrêa Marchan.-2015.  
83 f.; 30cm

Orientador: Ney Luis Pippi  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Medicina Veterinária, RS, 2015

1. Pressão intraocular 2. Tonometria de aplanção 3.  
Ecografia ocular 4. Aves 5. Oftalmologia aviária I.  
Pippi, Ney Luis II. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Pedro Rafael Apulcro Corrêa Marchan. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Doze, n. 2010, Bairro da Luz, Santa Maria, RS. CEP: 97110-680

Fone (055) 32225678; Fax (055) 32251144; E-mail: ufesme@ct.ufsm.br

---

**Universidade Federal De Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa De Pós-Graduação em Medicina Veterinária**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**TONOMETRIA E ECOBIOMETRIA OCULAR  
EM TUCANO-TOCO (*Ramphastos toco*) E  
TUCANO-DE-BICO-VERDE (*Ramphastos dicolorus*)**

Elaborada por  
**Pedro Rafael Apulcro Corrêa Marchan**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Medicina Veterinária**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Ney Luiz Pippi, Prof. Dr. (UFSM)**  
(presidente/orientador)

---

**Daniel Curvello de Mendonça Müller, Prof. Dr. (UFSM)**

---

**Gentil Ferreira Gonçalves, Prof. Dr. (UFFS)**

---

**Maurício Veloso Brun, Prof. Dr. (UFSM)**

---

**Dominguita Lühers Graça, Prof. Dra. (UFSM)**

Santa Maria, 18 de dezembro de 2015.

Dedico esse trabalho a Deus e a todos os meus familiares, com ênfase à minha esposa Mariangela R. V. Marchan e minha filha Rafaela Marchan, que ao longo desses anos me deram força e todo o apoio necessário.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor Dr. Ney Luiz Pippi pela orientação e a todos os professores que colaboraram me orientando. Agradeço a todos os professores da pós-graduação da UFSM, e a todas as pessoas envolvidas nesse projeto. Agradeço também ao Parque das Aves da cidade de Foz do Iguaçu e ao Zoológico Municipal de Cascavel.

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária  
Universidade Federal de Santa Maria

### **TONOMETRIA E ECOBIOMETRIA OCULAR EM TUCANO-TOCO (*Ramphastos toco*) E TUCANO-DE-BICO-VERDE (*Ramphastos dicolorus*)**

AUTOR: PEDRO RAFAEL APULCRO CORRÊA MARCHAN  
ORIENTADOR: PROF. DR. NEY LUIS PIPPI  
Santa Maria, 18 dezembro de 2015.

A visão das aves é fundamental para a sua sobrevivência em vida livre, pequenas alterações neste órgão, podem levar a perda da acuidade visual, conseqüentemente dificuldade ou mesmo impossibilidade em caçar, se locomover ou se defender de predadores. Devido a estas particularidades, o objetivo deste trabalho foi o de conhecer o valor normal da pressão intraocular (PIO) e identificar a anatomia ocular por meio da ecobiometria em modo B pela via transpalpebral, tornando o exame oftálmico mais completo e fidedigno. Foi avaliada a PIO de 15 Tucanos-toco (*Ramphastos toco*) e de 15 Tucanos-de-bico-verde (*Ramphastos dicolorus*) por meio da tonometria de aplanção, usando o tonômetro Tono-Pen VET<sup>®</sup>. Foi realizado ecobiometria ocular em 5 Tucanos-toco e 5 Tucanos-de-bico-verde. A PIO dos Tucanos-toco com 95% de confiança teve uma média entre 13,79 mmHg e 17,61 mmHg, já os Tucanos-de-bico-verde tiveram a PIO entre 12,05 mmHg e 16,81 mmHg. A ecografia ocular se mostrou eficiente pois foram identificados o segmento anterior, a lente, o segmento posterior, o posicionamento da retina, o pécten e o espaço retrobulbar. Na ecobiometria foram obtidos nos Tucanos-toco média do eixo axial bulbar de 1,66 cm, eixo axial do segmento anterior 0,25 cm, eixo axial do segmento posterior 1,05 cm, eixo transversal do segmento posterior 2,20 cm, eixo axial da lente 0,35 cm e eixo transversal da lente 1,21 cm, e nos Tucanos-de-bico-verde a média do eixo axial bulbar de 1,29 cm, eixo axial do segmento anterior 0,10 cm, eixo axial do segmento posterior 0,79 cm, eixo transversal do segmento posterior 1,39 cm, eixo axial da lente 0,40 cm e eixo transversal da lente 0,99 cm. Conclui-se que é possível mensurar a PIO por meio da tonometria de aplanção com o tonômetro Tonopen VET<sup>®</sup> e que a ecobiometria ocular, em modo B pela via transpalpebral é viável para estas espécies.

**Palavras-chave:** Pressão intraocular. Tonometria de aplanção. Ecografia ocular. Aves. Oftalmologia aviária.

## ABSTRACT

Doctorate Thesis  
Programa de Pós-graduação em Medicina Veterinária  
Universidade Federal de Santa Maria

### OCULAR TONOMETRY AND SONOGRAPHIC BIOMETRY IN TOCO TOUCAN (*Ramphastos toco*) AND RED-BREASTED TOUCAN (*Ramphastos dicolorus*)

AUTHOR: PEDRO RAFAEL APULCRO CORRÊA MARCHAN

ADVISOR: PROF. DR. NEY LUIZ PIPPI

Place and date of the defense: Santa Maria, 18<sup>th</sup> December, 2015.

The eyesight of birds is essential for their survival in a free environment; tiny alteration in this organ may cause loss of vision, consequently the difficulty or even the impossibility to hunt, move or protect themselves from predators; due to these particularities, the objective of this paper was to know the normal rate of intra-ocular pressure (IOP) and to identify the ocular anatomy through sonographic biometry in B-scan through transpalpebral way, so the ophthalmic examination can be complete and reliable. It was valued the IOP of 15 Toco Toucans (*Ramphastos toco*) and 15 Red-breasted Toucan (*Ramphastos dicolorus*) through applanation tonometry, using a Tono-Pen VET<sup>®</sup> tonometer and executed sonographic biometry ocular in 5 Toucans Toco and in 5 Red-breasted Toucan. The IOP from Toco Toucans, reliable in 95% got the media between 13,79 mmHg to 17,61 mmHg, while the Red-breasted Toucan got the IOP between 12,05 mmHg and 16,81 mmHg. The ocular ultrasound eye was efficient as it could identify the previous segment, the lens, the posterior segment, positioning of the retina, Pecten and retrobulbar space. The Toco Toucans sonographic biometry obtained the bulbar average axial length of 1,66 cm, axial shaft of anterior segment 0,25 cm, shaft axial lens 0,35 cm axial shaft of posterior segment 1,05 cm, transverse shaft of the posterior segment 2,20 cm, transverse shaft of the lens 1,21 cm, and in Red-breasted Toucan the bulbar average axial length of 1,29 cm, axial shaft of anterior segment 0,10 cm, axial shaft lens 0,40 cm axial shaft of posterior segment 0,79 cm, shaft transverse of the posterior segment 1,39 cm, shaft transverse of the lens 0,99 cm. It follows that it is possible to measure IOP by tonometry with Tono-pen VET<sup>®</sup> tonometer and ocular sonographic biometry the B-scan transpalpebral, route is feasible for these species.

**Key words:** Intraocular pressure. Tonometry. Ocular ultrasound. Birds. Avian ophthalmology.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Recinto dos Tucanos-de-bico-verde e Tucanos-toco no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR.....	43
Figura 2 – Recinto anexo, no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR .....	44
Figura 3 – Avaliação clínica em um Tucano-toco no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR.....	45
Figura 4 – Avaliação clínica em um Tucano-de-bico-verde no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR.....	46
Figura 5 – Avaliação de um Tucano-toco por meio de transiluminação e transposição com lente de 20 de dioptria (D) Opto <sup>®</sup> no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR.....	47
Figura 6 – Biomicroscopia em lâmpada de fenda com o biomicroscópio PLS <sup>®</sup> da Reichert <sup>®</sup> em um Tucano-toco no Zoológico Municipal de Cascavel - PR.....	48
Figura 7 – Oftalmoscopia direta em Tucano-toco utilizando o oftalmoscópio direto da Welch Allyn <sup>®</sup> modelo Pocket Junior 12850 <sup>®</sup> no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR.....	48
Figura 8 – Oftalmoscopia direta em Tucano-toco utilizando o oftalmoscópio direto da Welch Allyn <sup>®</sup> modelo Panoptc <sup>®</sup> no Zoológico Municipal de Cascavel - PR .....	49
Figura 9 – Tucano-toco recebendo uma gota do colírio Anestésico <sup>®</sup> no olho esquerdo, no Parque das Aves na cidade de Foz do Iguaçu - PR.....	50
Figura 10 – Tonometria do olho direito de um Tucano-de-bico-verde no Parque das Aves na cidade de Foz do Iguaçu - PR.....	50
Figura 11 – Tonometria do olho esquerdo de um Tucano-de-bico-verde no Parque das Aves na cidade de Foz do Iguaçu - PR.....	51
Figura 12 – Tonometria no olho direito de um Tucano-toco no Zoológico Municipal de Cascavel - PR .....	51
Figura 13 – Ecografia ocular em Tucano-toco. Plano de corte é o dorsal (9 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR.....	53
Figura 14 – Imagem ecográfica ocular de um Tucano-toco. Plano de corte é o dorsal (9 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR.....	53
Figura 15 – Imagem ecográfica ocular de um Tucano-de-bico-verde. Plano de corte é o dorsal (9 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR...	54
Figura 16 – Ecografia ocular em Tucano-toco. Plano de corte é o sagital (12 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR.....	54
Figura 17 – Ecografia ocular em Tucano-toco. Plano de corte é o sagital (12 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR.....	55
Figura 18 – Ecografia ocular em Tucano-de-bico-verde. Plano de corte é o sagital (12 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR.....	55
Figura 19 – Imagem ecográfica de um olho de um Tucano-de-bico-verde no plano dorsal, com detalhe das estruturas intraoculares .....	60

- Figura 20 – Imagem ecográfica de um olho de um Tucano-toco no plano dorsal com detalhe das estruturas intraoculares..... 60
- Figura 21 – Imagem ecográfica do olho de um Tucano-de-bico-verde em corte plano dorsal (9h), com as mensurações: (1) eixo axial do segmento anterior, (2) eixo axial da lente, (3) eixo axial do segmento posterior, (4) eixo transversal da lente e (5) eixo transversal do segmento posterior. Notar que o eixo axial bulbar é uma somatória das mensurações do item (1), (2) e (3) ..... 62
- Figura 22 – Imagem ecográfica do olho de um Tucano-toco em corte plano dorsal (9h), com as mensurações: (1) eixo axial do segmento anterior, (2) eixo axial da lente, (3) eixo axial do segmento posterior, (4) eixo transversal da lente e (5) eixo transversal da segmento posterior. Notar que o eixo axial bulbar é uma somatória das mensurações do item (1), (2) e (3) ..... 63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tonometria dos 15 Tucanos-de-bico-verde e dos 15 Tucanos-toco com as pressões intraoculares individuais dos olhos esquerdos e direitos.....	57
Tabela 2 – Dados estatísticos dos olhos direito e esquerdo e a média geral estatística de ambos os olhos dos Tucanos-de-bico-verde.....	58
Tabela 3 – Dados estatísticos individuais dos olhos direito e esquerdo e a média geral estatística de ambos os olhos dos Tucanos-toco .....	58
Tabela 4 – Estruturas anatômicas identificadas (marcadas com um X na tabela) por meio da ecografia ocular nos cortes sagital e dorsal (Figuras 19 e 20).....	59
Tabela 5 – Tempo individual e a média do tempo da realização da ecografia ocular em Tucanos-de-bico-verde.....	61
Tabela 6 – Tempo individual e a média do tempo da realização da ecografia ocular em Tucanos-toco .....	61
Tabela 7 – Avaliação do eixo axial bulbar, do eixo axial do segmento anterior, do eixo axial e transversal do segmento posterior do olho, do eixo axial e transversal da lente dos Tucanos-do-bico-verde. A (Figura 21) ilustra a forma como foi mensurado cada segmento.....	62
Tabela 8 – Avaliação do eixo axial bulbar, do eixo axial do segmento anterior, do eixo axial e transversal do segmento posterior do olho, do eixo axial e transversal da lente dos Tucanos-toco. A (Figura 22) ilustra a forma como foi mensurado cada segmento .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(D)	– dioptria
μm	– micrômetro
cm	– centímetro
g	– gramas
h	– horas
LCD	– liquid Cristal Display
MHz	– megahertz
min	– minuto
mm	– milímetro
mmHg	– milímetros de mercúrio
modo-A	– ultrassonografia em amplitude de tempo
modo-B	– ultrassonografia brilho e em tempo real no
°C	– grau Celsius
PIO	– pressão intraocular
PR	– Paraná
RS	– Rio Grande do Sul
UFMS	– Universidade Federal de Santa Maria
UFPR	– Universidade Federal do Paraná
UFFS	– Universidade Federal da Fronteira Sul
P	– pressão
F	– superfície
A	– área de aplanamento

## LISTA DE SÍMBOLOS

$>$	– maior que
$\pm$	– desvio padrão
$=$	– igual
$\sqrt{\quad}$	– raiz quadrada
$\bar{x}$	– valor médio
$\%$	– porcentagem
$\text{\textcircled{R}}$	– marca registrada

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Tucanos</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Anatomia e fisiologia ocular</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Órbita</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Pálpebras</b> .....	<b>19</b>
<b>2.5</b>	<b>Bulbo ocular</b> .....	<b>20</b>
<b>2.6</b>	<b>Túnica fibrosa</b> .....	<b>22</b>
<b>2.7</b>	<b>Lente</b> .....	<b>23</b>
<b>2.8</b>	<b>Íris</b> .....	<b>23</b>
<b>2.9</b>	<b>Corpo ciliar</b> .....	<b>24</b>
<b>2.10</b>	<b>Ângulo iridocorneano</b> .....	<b>25</b>
<b>2.11</b>	<b>Pécten</b> .....	<b>26</b>
<b>2.12</b>	<b>Humor aquoso, pressão intraocular (PIO) e fatores que alteram a PIO</b> .....	<b>27</b>
<b>2.13</b>	<b>Métodos de avaliação da pressão intraocular</b> .....	<b>31</b>
<b>2.14</b>	<b>Ecografia ocular</b> .....	<b>37</b>
<b>2.15</b>	<b>Técnicas de varredura</b> .....	<b>38</b>
<b>2.16</b>	<b>Anatomia ecográfica ocular</b> .....	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>42</b>
<b>3.1</b>	<b>Local</b> .....	<b>42</b>
<b>3.2</b>	<b>Escolha dos animais</b> .....	<b>42</b>
<b>3.3</b>	<b>Avaliação dos recintos pré e pós exame</b> .....	<b>42</b>
<b>3.4</b>	<b>Temperatura ambiente dos dias das avaliações</b> .....	<b>43</b>
<b>3.5</b>	<b>Local das avaliações oftálmicas</b> .....	<b>43</b>
<b>3.6</b>	<b>Captura dos animais</b> .....	<b>44</b>
<b>3.7</b>	<b>Avaliação clínica</b> .....	<b>45</b>
<b>3.8</b>	<b>Avaliação oftálmica geral pré-tonometria e ecografia ocular</b> .....	<b>46</b>
<b>3.9</b>	<b>Realização da tonometria de aplanção</b> .....	<b>49</b>
<b>3.10</b>	<b>Realização da ecobiometria ocular</b> .....	<b>52</b>
<b>3.12</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
<b>4.1</b>	<b>Tonometria de aplanção</b> .....	<b>57</b>
<b>4.2</b>	<b>Ecografia ocular para identificação das estruturas anatômicas</b> .....	<b>59</b>
<b>4.3</b>	<b>Tempo da realização dos exames ecográficos</b> .....	<b>61</b>
<b>4.4</b>	<b>Ecobiometria ocular</b> .....	<b>62</b>
<b>4.5</b>	<b>Avaliação da presença de artefatos da imagem</b> .....	<b>64</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>74</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Com a consolidação do conceito de proteção e conservação de aves de vida livre e de cativeiro, e o estabelecimento de metodologias para a proteção 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 órgão tão eficiente como o olho proporcionou às aves, uma importantíssima vantagem evolutiva sobre outras espécies animais, mas, por outro lado, tornou-as extremamente sensíveis às afecções oculares. Simples alterações neste nível podem levar à sua incapacidade de sobrevivência em vida livre, e limitar a sua qualidade de vida enquanto se encontrem em cativeiro (PIÑEIRO; BERT, 2011). Numerosos estudos comprovam a importância da visão na subsistência destes animais, inclusive abordando questões relacionadas com as diferenças de visão entre as aves e outras espécies animais, e entre as diferentes espécies de aves (PIÑEIRO; BERT, 2011), 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 (ZEIGLER; BISCHOF, 1993).

A maioria das espécies de aves são diurnas, apresentam muitas vezes não uma, mas duas foveas e o seu mundo sensorial tem um caráter visual (McFADDEN, 1993).

Conhecer a condição oftálmica destes animais irá determinar em grande parte o seu potencial de reabilitação e recuperação, possibilitando sua posterior libertação à vida livre. Determinar que indivíduos com dano ocular são candidatos aptos para libertação é um desafio complicado para veterinários e biólogos. Em primeiro lugar, fazer uma avaliação correta da visão em aves é desafiador, especialmente quando se considera o alto grau de acuidade visual necessário para que uma ave sobreviva na natureza. Segundo, entre cada espécie de ave, 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 afetados pela diminuição da capacidade visual. Outros fatores tais como a idade do animal, doenças sistêmicas concomitantes e outras lesões existentes, devem ser incluídas na decisão para libertação ou não (PAULI; KLAUSS; DIEHL; REDIG, 2007).

Tendo em mente a importância da visão para a espécie aviária, torna-se necessário e importante, conhecer, no âmbito da semiologia ocular, valores basais da pressão intraocular, pois a mesma indica ao médico veterinário afeções severas como hipertensão ocular e manifestações oftálmicas como uveíte bem como, avaliar a eficácia da ecobiometria ocular em modo-B realizando um exame rápido em até 5 minutos para evitar ou minimizar o estresse do animal, no intuito de implantar estes exames como rotina clínica em consultas oftálmicas, possibilita um diagnóstico mais rápido e preciso para a espécie.

Dentro do contexto acima apresentado, os objetivos do presente estudo foram:

- Avaliar a possibilidade de mensurar a pressão intraocular por meio de tonometria de aplanção com o tonômetro Tono-pen VET<sup>®</sup> Reicher<sup>®</sup>;
- Verificar se a ecografia ocular em modo B pela via transpalpebral permite a identificação das estruturas anatômicas oculares;
- Verificar se a ecobiometria ocular básica pode ser feita no plano dorsal;
- Avaliar a viabilidade de executar um exame em aproximadamente 5 minutos;
- Avaliar a presença dos artefatos de imagem;



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Tucanos

Os tucanos, pertencentes à ordem Piciformes e família Ramphastidae, possuem caráter simbólico pois são reconhecidos mundialmente como pertencentes à fauna neotropical. Possuem grande importância ecológica pois auxiliam no processo de dispersão de sementes, favorecendo dessa forma a recuperação de florestas. Esta dispersão é realizada através da regurgitação ou defecação de sementes em condições de germinar (FERREIRA JÚNIOR, 2012).

Mesmo sendo foco do tráfico, são abundantes em suas áreas de ocorrência, salvo exceções. A grande maioria destas aves quando confiscadas do tráfico são encaminhadas para zoológicos, onde sua expectativa de vida diminui de 15 a 25 anos para 10 anos, resultante de manejo inadequado, traumas e doenças infecciosas (CUBAS et al., 2014).

Em questão de *habitat* natural, apresentam ampla variedade, podem habitar em clareiras e cerrados ou como a grande maioria dos tucanos, florestas fechadas, com ocorrência de águas e mata ciliar, florestas tropicais, subtropicais e savana pantaneira (CUBAS et al., 2014).

São facilmente reconhecidos devido ao bico de tamanho considerável e o formato de suas asas. Podem viver de forma singular, em pares e grupos. Dormem empoleirados com sua cauda levantada, cobrindo dessa forma a cabeça, que descansa sobre as costas, virada caudalmente. Esta posição, ao que tudo indica, os protege de predadores durante o momento de descanso (CUBAS et al., 2014).

Apresentam bico longo, com caráter profundo e largo, na maioria das vezes é pigmentado e serrilhado. Apesar do bico ser desproporcional, os tucanos apresentam boa capacidade de voo, as asas são arredondadas e as retrizes retas, o que lhes proporciona bom direcionamento. No solo utilizam de saltos para se movimentar (GOMES et al., 2013).

Em vida livre a coloração do indivíduo se apresenta intensa e vibrante, porém em cativeiro se tornam mais pálidas, exceto que sejam suplementadas com carotenoides. Como são aves frugívoras e faunívoras oportunistas, seu aparelho gastrointestinal é curto.

Não possuem inglúvio e sua moela é pouco musculosa. Sua vesícula biliar e pâncreas são bem desenvolvidos, e não apresentam ceco (CUBAS et al., 2014). Sua nutrição possui caráter onívoro, seu aparelho digestório é adaptado para consumo de alto valor de gordura e proteína, existe uma enorme variedade de apontamentos de alimentos consumidos por estas aves, frutos, sementes, aves pequenas, ovos, dentre outros (LEITE et al., 2010).

Na natureza, são vistos em bando, porém os casais se isolam no período de reprodução, ao contrário da maioria dos Piciformes, os tucanos não cortejam durante o voo. A formação dos casais é evidenciada pela proximidade e disposição de alimentos, bem como cuidados mútuos de higiene, porém casais os quais já estão formados não necessariamente apresentam o comportamento de corte, copulando sem a presença de tal. Na sua grande maioria não apresentam o hábito de cavar o próprio ninho, utilizam de espaços ociosos confeccionados por outras aves, isto explica a boa aceitação de vários modelos diferentes de ninhos em cativeiro (CUBAS et al., 2014).

## **2.2 Anatomia e fisiologia ocular**

Os olhos são órgãos sensitivos complexos que evoluíram de primitivas aéreas sensíveis à luz, na superfície dos invertebrados. Protegidos por uma estrutura óssea, muscular e cutânea, os olhos possuem uma camada de receptores, um sistema de lente para focalização da luz e um sistema de nervos para condução dos impulsos dos receptores para o cérebro (MAGRANE, 1977; POLLOCK, 1979; MARTIN et al., 1981).

Devido a possibilidade da córnea e a lente modificar suas curvaturas para focar, as aves apresentam maior capacidade de acomodação visual, em relação aos mamíferos (CUBAS et al., 2014).

Efetivamente, de todos os sentidos das aves, a visão é de longe o mais importante (OROSZ, 2007). 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). A visão destes animais evoluiu independentemente da linha dos primatas, e apresentam com um grau de sofisticação e complexidade (ZEIGLER; BISCHOF, 1993).

O esquema básico da visão das aves é semelhante, até determinado 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 a dos mamíferos, no entanto, devido à grande variedade de *habitats* nos quais as aves se distribuem, desde terra, água e ar, abundam variações sutis neste órgão (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). Isto indica que, para as aves, existem mais informação sobre o mundo visual a ser transmitida ao cérebro do que em qualquer outro animal. O nervo óptico representa uma grande coleção de axônios mielinizados da camada de células ganglionares da retina. Em comparação, os humanos são primatas altamente visuais mas têm apenas 40% do número de axônios retinianos por nervo óptico quando comparados com pombos ou pintos. As aves de rapina têm um número de neurônios por nervo óptico ainda maior uma vez que a sua acuidade visual supera a de qualquer outro ser vivo (FOX; LEHMKUHLE; WESTENDORF, 1976).

As aves, na sua grande maioria, exceto as de rapina, enxergam melhor lateralmente devido ao posicionamento lateral dos olhos, ocorrendo apenas uma pequena sobreposição dos campos de visão (GETTY, 2008). Principalmente em Passeriformes e Rapinantes, é presente uma região de visão aguçada que fica alojada em um aprofundamento na retina, denominada fóvea. Algumas aves são bifoceadas. Muitas aves apresentam maior acuidade visual em comparação aos mamíferos, devido ao maior número de cones e de um competente efeito de magnificação da fóvea (CUBAS et al., 2014).

Na avaliação microscópica encontra-se uma cartilagem entre a esclera e a coroide, que envolve o bulbo ocular e lhe confere maior resistência em união com o anel de ossículos esclerais. Esta rigidez do bulbo ocular possibilita melhor acomodação visual das aves. O sistema de acomodação e modificação do formato da lente frente à ação dos músculos ciliares aderidos diretamente à cápsula da lente sem a presença de zônulas, denominado almofada anelar, também possibilita a alteração da curvatura da córnea pela ação do músculo de Crampton, presente em algumas aves (CUBAS et al., 2014).

### 2.3 Órbita

A órbita das aves é formada pelos ossos frontal, prefrontal, esfenóide, etmóide, palatino, ossos quadrados e o arco jugal (precursor 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).

Como os olhos das aves são tão grandes e possuem um encaixe tão justo na órbita, os músculos extraoculares encontram-se reduzidos e com largura fina (EVANS; MARTIN, 1993). São eles os músculos retos medial, lateral, dorsal, ventral e músculos oblíquos dorsal e ventral. O músculo retrator 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).

Ocorre comunicação dos seios periorbitais com o complexo de sacos aéreos, que está relacionado com o aparelho respiratório. O seio infraorbital é grande e envolve o olho, indo das porções superiores as inferiores do bico, e abrem-se na cavidade nasal (CUBAS et al., 2014).

### 2.4 Pálpebras

As pálpebras das aves são parcialmente ineficientes sendo a terceira pálpebra a principal a exercer as funções a elas designadas, possuem alta mobilidade sendo que, sua movimentação é realizada através da contração do músculo piramidal. A membrana nictitante nas aves, é responsável pela regulação e dissipação do filme lacrimal pré-corneano e barreira protetora física. A pálpebra inferior é de caráter mais móvel quando comparada à superior (CUBAS et al., 2014).

Depois da eclosão, as pálpebras estão bem desenvolvidas e a fenda palpebral encontra-se aberta em aves nidífugas, mas não nas espécies nidícolas como os tucanos, que permanecem aproximadamente três semanas com as pálpebras fechadas após o nascimento (BAYÓN et al., 2007).

A pálpebra superior é curta e espessa, enquanto que a inferior é fina, maior e mais móvel, porque contém um bordo tarsal fibroelástico sendo responsável pelo encerramento da

fenda palpebral. As pálpebras não possuem glândulas de Meibômio e podem ou não ter penas modificadas, chamadas filoplumas (O'MALLEY, 2005), que funcionam como proteção ou receptores tácteis (JONES et al., 2007).

A membrana nictitante pode atravessar a córnea 15 a 20 vezes por minuto, mesmo estando as outras pálpebras fechadas (GUM; GELATT; OFRI, 1999). Além de encontrar-se coberta por uma camada papilar de epitélio (JONES et al., 2007).

A córnea é mantida úmida 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 antigênica do olho, ajudando assim à sua proteção contra a invasão e proliferação microbiana (JONES et al., 2007). A glândula lacrimal, que varia em tamanho entre espécies (EVANS; MARTIN, 1993), está localizada numa posição infra temporal ao bulbo.

A glândula de Harder é a maior de todas as glândulas e localiza-se em posição crâniomedial 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 feromônios, fatores 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).

## **2.5 Bulbo ocular**

O tamanho relativo de um órgão normalmente reflete a sua significância funcional (GARAMSZEGI; MOLLER; ERRITZOE, 2002) e, no caso dos olhos das aves, esta afirmação é totalmente verdadeira uma vez que, o fator primário que reflete a soberana importância da visão nestes animais é o grande tamanho do seu bulbo 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).

Outra peculiaridade anatômica do bulbo ocular das aves é a presença do anel ósseo e uma cúpula cartilaginosa. O anel de ossículos determina a forma do segmento anterior e a cúpula da esclera mantém a estrutura do segmento posterior do bulbo do olho. Sua cavidade orbitária é de tamanho grande, podendo ser do tipo completa ou incompleta (GETTY, 2008).

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, o Avestruz (*Struthio camelus*), é o que possui o maior bulbo ocular, medindo 50 mm de comprimento axial (WALLS, 1942; MARTIN, 1993).

No quesito óptica, o parâmetro mais importante associado ao tamanho do bulbo 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. Conseqüentemente, a quantidade de detalhes que poderá ser interpretada numa dada densidade de receptores irá aumentar (GÜNTÜRKÜN, 2000).

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 otimização do seu aproveitamento (MARTIN, 1993).

A forma parcialmente hemisférica do segmento posterior do bulbo ocular é desproporcionalmente maior que o segmento anterior, estando os dois segmentos unidos por uma região intermédia composta de 10 a 18 ossículos esclerais (JONES et al., 2007). Acredita-se que tais estruturas, 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 proteção ao aspecto lateral do bulbo que se situa, na sua grande parte, fora de qualquer tipo de proteção óssea da órbita (WYGNANSKI-JAFFE et al., 2007).

Os bulbos oculares das aves apresentam três formas básicas, a plana, a globosa e a tubular, sendo que nenhuma se aproxima da forma tipicamente esférica do olho dos mamíferos (WALLS, 1942). A maior diferença entre estas categorias reside na razão entre os diâmetros axial e equatorial de cada bulbo ocular (MARTIN, 1993).

Apesar de as diferentes formas dos bulbos oculares possam estar em parte relacionadas com o desempenho visual, elas podem simplesmente refletir uma adaptação animal (MARTIN, 1993).

## 2.6 Túnica fibrosa

Mantendo a 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 bulbo ocular. As suas funções incluem suportar o conteúdo intraocular, refração da luz por meio de sua curvatura e transmissão da luz (SAMUELSON, 1999).

Nos olhos de forma globosa ou tubular, a curvatura é ainda mais acentuada, apresentando a córnea uma área relativamente pequena quando comparada com a do resto do bulbo ocular. A córnea das aves é formada por cinco camadas, mas é consideravelmente mais fina que a de outras espécies e a sua espessura é bastante variável dentro da classe (EVANS; MARTIN, 1993).

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  $\mu\text{m}$  (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 e não pigmentadas 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 pode ser visível à microscopia de algumas aves (GETTY, 2008), porém normalmente não é vista na maioria dos animais, sendo que em 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, a quarta camada é a membrana limitante posterior, ou também chamada de membrana de Descemet, e finalmente o endotélio, sendo constituído por uma fila única de células achatadas (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 atuam como uma barreira hidrofóbica e uma bomba, respectivamente (SAMUELSON, 1999).

## 2.7 Lente

A lente das aves possui muitas variações interespecíficas de tamanho e forma sendo, por exemplo, quase esférica nas aves noturnas, e com o seu aspecto anterior plano nas espécies diurnas, como nos tucanos (BAYÓN et al., 2007). Essas particularidades refletem diferenças no seu poder refrativo, limite de acomodação e campos visuais do olho (BROOKS, 1997).

Devido ao ritmo mais baixo de desenvolvimento das fibras lenticulares em comparação às 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 diretamente 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 (*vesícula lentis*) que os separa, servindo como um arranjo hidrostático, para a transmissão de pressão desde os músculos ciliares até ao corpo central, facilitando a acomodação (EVANS; MARTIN, 1993).

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

## 2.8 Íris

A íris tem origem na porção anterior do corpo ciliar, estende-se centralmente e forma um diafragma anterior à lente, criando assim uma câmara anterior e uma posterior que se



comunicam através da pupila (JONES et al., 2007). É formada por numerosos vasos sanguíneos, fibroblastos, nervos, colágeno, células epiteliais e uma extensa componente muscular, qual regulam a quantidade de luz que entra no segmento posterior do olho, através da sua midríase ou miose. As cores da íris variam extraordinariamente entre indivíduos e espécies, pois dependem da quantidade de pigmentos, tipo de pigmentos e do nível de vascularização (SAMUELSON, 1999), variam também com a idade, dieta (GUM et al., 1999) e sexo (BORTOLOTTI; SMITS; BIRD, 2003). As alterações de tamanho e forma da pupila das aves podem ser bastante extensas e muito mais rápidas que em mamíferos (JONES et al., 2007).

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

A íris das aves não responde aos agentes midriáticos convencionais usados em mamíferos, tais como a atropina, tropicamida e a fenilefrina (LOERZEL; SMITH; HOWE; SAMUELSON, 2002). Assim sendo, um agente bloqueador neuromuscular, como por exemplo, o vecurônio 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).

## 2.9 Corpo ciliar

O corpo ciliar é uma extensão da úvea sendo contíguo anteriormente com a coroide 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 direção 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 contato direto com a sua cápsula. Para além de tecido conjuntivo frouxo, 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). O músculo de Crampton assume maiores dimensões nos falcões e corujas, sendo menor nas aves aquáticas e ausente no Corvo marinho (*Phalacrocorax spp.*) (EVANS; MARTIN, 1993).

Uma característica importante relativa ao músculo ciliar é que este participa ativamente nos processos de acomodação, sendo eles tanto lenticulares como corneanos. Fibras do músculo de Crampton estendem-se até à camada interna da córnea onde, durante a acomodação, as puxam posteriormente, permitindo mudanças na sua curvatura (PARDUE, 1996; KORBEL et al., 1998). Por outro lado, a configuração lenticular é também alterada graças as fibras do músculo ciliar posterior que permitem a movimentação da base do corpo ciliar, a qual é articulada diretamente com a lente pelos processos ciliares e não indiretamente através das fibras zonulares (SAMUELSON, 1999; SIVAK, 2004). O grupo de fibras de Müller afeta tanto a córnea como a lente (PARDUE, 1996; KATZIR; HOWLAND, 2003).

O corpo ciliar é o responsável pela produção do humor aquoso pelos seus processos ciliares e manutenção do equilíbrio da PIO. Exerce ainda influência muscular no fluxo convencional do humor aquoso, forma estruturalmente a entrada do fluxo não convencional e constitui uma barreira hematoaquosa (JONES et al., 2007).

## 2.10 Ângulo iridocorneano

O Ângulo de drenagem iridocorneano que nos mamíferos é uma malha trabecular essencialmente concebida para a drenagem do humor aquoso, nas aves, 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 entre eles, contribuindo para o mecanismo especial de acomodação (KORBEL et al., 1998). Foi demonstrado também que, graças à sua elasticidade, o ligamento pectinado era responsável por exercer tração na lente para que esta admita um estado mais alongado (GLASSER; HOWLAND, 1996).

A extensão lateral da câmara anterior situada entre a íris e a córnea é extremamente bem desenvolvida nas aves, 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 o seio venoso escleral conhecido também como canal de Schlemm, o qual é normalmente bifurcado (KORBEL et al., 1998).

Pelo motivo de existir uma grande variabilidade na curvatura da córnea das diferentes espécies, a observação do ângulo iridocorneano, ou seja, a realização de gonioscopia na oftalmologia ornitológica torna-se difícil, e em alguns momentos, impossível (KORBEL et al., 1998).

### **2.11 Pécten**

O pécten é uma estrutura intraocular fortemente vascular e pigmentada. Encontra-se localizado no quadrante temporal posterior e inferior do segmento posterior, projetando-se no corpo vítreo desde o disco óptico, com o qual a sua base coincide (WALLS, 1942; KIAMA et al., 2006).

A primeira vez que o pécten foi descrito, ocorreu em 1687 e ao longo do tempo, continuou à ser descrito no quesito estrutura e finalidade. Até hoje, controvérsias intrigam os pesquisadores, e durante anos levou-os à formulação de inúmeras hipóteses para a sua função, algumas delas apenas especulativas e bastante improváveis (MURPHY, 1987).

Walls em 1942 juntou várias evidências anatômicas e circunstanciais para a hipótese de que o pécten, a única estrutura vascular do segmento posterior do olho das aves, serviria como um substituto para a vascularização direta da retina. Efetivamente, esta é, entre todas as outras hipóteses para a função do pécten, a que está melhor desenvolvida e aceita.

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

O pécten possui um endotélio capilar reduplicado formado por inúmeras micro pregas, para além das pregas primárias que o constituem, comprovando a existência de um

mecanismo de transporte de água, sendo o sentido mais provável do seu movimento, desde os vasos do pecten para o humor vítreo (BRAEKEVELT, 1993; BRAEKEVELT, 1994).

Ainda obscuro, o pecten 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 à uma visão aguçada. A ausência de vasos e mitocôndrias na retina das aves pode assim servir como uma forma de melhorar a qualidade e transparência da imagem retiniana (HUGHES et al., 1972; BRACH, 1977).

## **2.12 Humor aquoso, pressão intraocular (PIO) e fatores que alteram a PIO**

A pressão intraocular e seus fundamentos 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, atuando perpendicularmente a todos os limites”. A PIO é a distribuição de forças do fluido dentro do olho, agindo perpendicularmente à esclera e à 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 segmento anterior do olho, 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, 2008). 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 para as 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 ativa) e secreção ativa pelo epitélio ciliar não pigmentado (GUM et al.,

1999) que se encontra em contato direto com o humor aquoso na câmara posterior (GOEL et al., 2010). A ultrafiltração descreve o movimento de água e compostos hidrossolúveis através de uma membrana celular, guiado 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 menor 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).

O humor aquoso é composto por proteínas, imunoglobulinas, enzimas e lipídios, 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 ativo, tais como aminoácidos e ascorbato, são normalmente mais elevadas de que as plasmáticas (OFRI, 2002). A composição do humor aquoso 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). Além disso, existem muitas diferenças interespecíficas que resultam normalmente das diferentes exigências metabólicas da córnea e da lente de cada espécie. Outras alterações de composição podem ainda resultar de uveíte onde há ruptura da barreira hematoaquosa e conseqüentemente queda da PIO, levando à um aumento da concentração de proteínas e outras substâncias derivadas da inflamação (OFRI, 2002).

Conforme 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 por meio do sistema de drenagem (GUM et al., 1999).

A produção do humor aquoso iguala o do seu fluxo de saída do olho determinando a PIO. Para mantê-la dentro de valores constantes e permitir que as superfícies refratárias do olho se mantenham em posição normal, a cadência de produção do humor desde o estroma ciliar é influenciada por hormônios 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 (GUM et al., 1999).

A drenagem 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 através do ângulo iridocorneano 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 supracoroidal e esclera (OFRI, 2002). Na via convencional (principal), o humor aquoso passa pelo ângulo iridocorneano, 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 composto pelos ligamentos pectinados, e de poros progressivamente menores (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 coletores (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 supracoroidal para dirigir-se ou para as veias da coroide 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  $\mu\text{l}/\text{min}$ ) (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 coroide, as quais representam uma importante rede linfática, desempenhando um papel não só na drenagem de fluidos transretinais e locais, mas também na drenagem ativa do humor aquoso (DE STEFANO; MUGNAINI, 1997).

Alterações na hemodinâmica do humor aquoso refletem uma flutuação na PIO, tanto em indivíduos hígidos quanto em indivíduos glaucomatosos. Estas flutuações refletem ao ciclo circadiano, variando entre o dia e a noite, dependendo da espécie. Em casos onde há suspeita de glaucoma ou mesmo interesse em obter uma média diária, é recomendado realizar a curva tensional diária, sendo realizado 7 mensurações com intervalo de 3 horas, com início às 6 horas e término as 24 horas (BETINJANE 2009).

Dentre os fatores que aumentam a pressão intraocular nas espécies domésticas e no homem, encontra-se: o uso de instrumentos de sopro, a posição corporal, execução de ioga, uso de gravatas e coleiras apertadas, uso de óculos de natação, levantamento de peso,

exercício, ingestão de cafeína, ingestão de água, e o índice de massa corporal (RIBEIRO, 2011; TAMURA, 2013). A posição decúbito supina em um trabalho, relata aumento da pressão intraocular de  $2,47 \pm 2,12$  mmHg em comparação com o valor obtido na posição vertical (RIBEIRO, 2011). Com tais estudos pode-se concluir que o aumento da PIO que acompanha variações posturais, parece resultar de um congestionamento vascular da coroide e de aumento da pressão venosa episcleral. De fato, como a maioria dos estudos comprovam, a PIO pode sofrer alterações devido a variações da posição do corpo ou da cabeça, e a magnitude dessas alterações parece variar de acordo com o ângulo de inclinação postural (PRATA, 2010).

O uso de gravatas e colarinhos apertados também são motivos para o aumento da PIO. Na literatura, estudos comprovam que o aperto das gravatas durante três minutos elevou a pressão intraocular em média de  $2,6 \pm 3,9$  mmHg ( $p=0,008$ ) nos sujeitos saudáveis e  $1,0 \pm 1,8$  mmHg ( $p=0,02$ ) nos pacientes com glaucoma, voltando praticamente aos valores iniciais após serem afrouxadas (TENG, 2003). Segundo os autores, o mecanismo responsável por este aumento, deve-se, provavelmente, ao fato de que uma gravata apertada possa comprimir as veias jugulares do pescoço, elevando a pressão venosa e conseqüente a pressão episcleral, que por sua vez eleva a PIO por diminuir o fluxo do humor aquoso nas veias com aumento da pressão.

Aparatos que ficam ao redor dos olhos como óculos de natação também podem influenciar a pressão intraocular por exercerem uma determinada pressão no tecido periocular. Estudos que avaliaram nadadores, notaram um incremento de até 2,32 mmHg na PIO média após o uso do óculos (MA, 2007).

Com o advento de maior preocupação com a estética, sobre a saúde, a procura pelas academias aumentou significativamente. Em estudos realizados com jovens em academias observaram aumento de até  $4,3 \pm 4,2$  mmHg ( $p < 0,001$ ) na PIO em esforço, quando executou-se a manobra de Valsalva, esta pressão aumentou ainda mais (VIEIRA, 2006).

O consumo hídrico é de grande valia para hidratar e ajudar nas funções metabólicas do organismo. No entanto, tem sido demonstrado que beber uma quantidade substancial de água, num período curto de tempo, pode levar a uma elevação significativa da PIO, tanto em indivíduos saudáveis como em pessoas com glaucoma (READ, 2010).

Fato este que ocorre na rotina clínica, como agentes midriáticos, como atropina, de efeito prolongado, devemos dar certa atenção em animais potenciais para hipertensão ocular (CORRÊA, 2014).

### 2.13 Métodos de avaliação da pressão intraocular

Existem dois tipos de métodos para a mensuração da PIO, o primeiro é a manometria, como único método direto de medição deste parâmetro e o segundo a tonometria, usada como um método indireto de medição da PIO, sendo o praticado nos exames oftálmicos de rotina (REUTER; MÜLLER; ARNDT; EULE, 2010).

A técnica mais exata para determinar a PIO é realizada mediante a colocação de uma cânula na câmara anterior do olho que, por sua vez, se encontra ligada a um manômetro. Este método direto, implica na perfuração do bulbo ocular (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 milímetros de mercúrio (mmHg), reflete a PIO (KNIESTEDT; PUNJABI; LIN; STAMPER, 2008). Pelo seu carácter invasivo, não apresenta aplicação clínica para monitorização da PIO, mantendo-se reservada para procedimentos experimentais (MANENT et al., 2009), já a tonometria refere-se à estimativa indireta não invasiva da pressão intraocular (ALGUIRE, 1990).

Se a quantidade do humor aquoso 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 incompreensível. 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 oculares menos rígidas, e as forças assim aplicadas serão de novo transmitidas através do humor aquoso para ativar a sua drenagem e devolver o bulbo ocular a um estado confortável. É este equilíbrio dinâmico que se tenta capturar e avaliar através da tonometria (STUCKEY, 2004).

A tonometria 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 (hipertensão ocular). No entanto, representa muito mais, sendo também um meio para diagnóstico de uveíte (hipotonia ocular) e para confirmação ou exclusão de diagnósticos de todas as outras causas de olho vermelho, tais como ceratite, conjuntivite e esclerite (PIO supostamente não afetada) (MAGGS, 2008). Além



disto é extremamente importante na avaliação da evolução pós-operatória de cirurgias intraoculares (PILLUNAT; KOHLHAAS; BÖHM; SPOERL, 2006).

A digitometria, encontra-se reportada aos tempos pré-hipocráticos e é ainda executada por alguns oftalmologistas e oftalmologistas veterinários (STRUBBE; GELATT, 1999). Esta técnica envolve a colocação do dedo indicador na pálpebra superior, sobre o bulbo, aplicando pressão para estimar a rigidez que este apresenta (RENEWICK, 2002). A técnica consiste numa medição da PIO subjetiva, incerta e não reprodutível. A dependência neste método leva a um diagnóstico incorreto e uma terapia ocular inapropriada, culminando em consequências inadmissíveis para os animais como cegueira e perpetuação de dor ocular (MAGGS, 2008). Além disto, a digitometria não é aplicável em aves, dada a existência do anel esclerótico e do tarso na pálpebra inferior, estruturas que, se palpadadas, podem levar a uma avaliação errônea da PIO (KORBEL, 1993).

O método de indentação, consiste em criar uma depressão num objeto cheio de fluido ou gás. Este é o princípio em que se baseia a tonometria de indentação (KNIESTEDT et al., 2008). No bulbo 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 diretor do Departamento de Olhos do Hospital de Rijks em Oslo na Noruega, desenvolveu um excelente tonômetro em 1905 que viria, eventualmente, a ser o instrumento mais utilizado por todo o mundo. Graças à sua simplicidade, confiabilidade e relativa precisão, é o único tonômetro de indentação utilizado atualmente (ANDERSON; GRANT, 1970; STRUBBE; GELATT, 1999; KNIESTEDT et al., 2008).

O desenho do tonômetro de Schiøtz é 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).

Em aves com olhos pequenos como os tucanos, a utilização do tonômetro 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 fator estresse pode ser uma grande barreira e é de extrema importância, principalmente quando se consideram as aves selvagens, a membrana nictitante pode interferir a tonometria (STRUBBE; GELATT, 1999). Embora existam tabelas de calibração para cães e gatos, elas estão indisponíveis para aves,

tornando a avaliação de dados obtidos com este tipo de tonômetro bastante difícil (BAYÓN et al., 2007).

No ano de 1885, Maklakoff redigiu um tratado sobre tonometria. Ele 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 tonômetro consistia de um cilindro de metal, de peso conhecido, com as extremidades planas e cobertas por vidro. Estas superfícies de vidro eram desinfetadas pela introdução em álcool ou éter, impregnadas por uma fina camada de suspensão de argirol e colocadas em contato com a córnea. A área de contato 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).

Em 1888 foi publicado a conhecida Lei de Imbert-Fick (STUCKEY, 2004) a qual permanece até os dias de hoje, a base física da tonometria de aplanção. Ambos analisaram as forças que atuam 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).

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 umedecida por lágrimas que através da força capilar exercem uma atração na sonda do tonômetro e diminuem a força necessária para aplanamento da córnea (DABASIA, 2006; JOHNSON, 2010). Todos estes fatores 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).

Fick desenvolveu um tonômetro mecânico baseado nas suas considerações teóricas. Apresentou um mecanismo acionado 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 tonômetro de Maklakoff (KNIESTEDT et al., 2008; JOHNSON, 2010). O tonômetro de Maklakoff apresentava inúmeras desvantagens. 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.

Hans Goldmann apresentou o seu tonômetro em 1955 (STUCKEY, 2004) e com ele novas perspectivas para a tonometria de aplanção. Goldmann reconheceu que a existência de uma espessura corneana finita, uma rigidez corneana mensurável e forças capilares de atração exercidas pela película lacrimal pré-corneana, afetariam a precisão de um tonômetro (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 (MANENT et al., 2009; JOHNSON, 2010).

O funcionamento do tonômetro desenvolvido baseia-se na aplicação de uma força variável a um bi prisma que contata com a córnea, o qual opticamente converte a área circular de contato, delineada por um menisco de fluoresceína, em dois semicírculos (JOHNSON, 2010). Intensifica-se a força aplicada para aumentar a área de contato até que seja de 3,06 mm e os dois semicírculos comecem a se sobrepor. Este é o ponto em que uma área correta 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 aceito como um instrumento padrão sendo que todos os outros tonômetro 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 tonômetro mais preciso em oftalmologia (STRUBBE; GELATT, 1999). No entanto, este tonômetro 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 mantenha estacionário por vários segundos para permitir a obtenção de uma leitura precisa, o que limita o seu uso na prática clínica veterinária (STRUBBE; GELATT, 1999). Embora tentativas de adaptar este tonômetro a animais tenham sido realizadas com sucesso em animais de laboratório, as condições experimentais utilizadas não parecem adequar-se a outros indivíduos, continuando a sua aplicabilidade limitada (COHAN; BOHR, 2001).

Posteriormente foram desenvolvidos tonômetro portáteis, baseados nos princípios de Goldmann. Exemplos são os tonômetro de Draeger e Perkins, aparelhos portáteis, que

funcionam a bateria 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 um ganho de popularidade na medicina veterinária (STRUBBE; GELATT, 1999).

O tonômetro de aplanção de Mackay-Marg era constituído por um pequeno êmbolo de cerâmica (1,5 mm de diâmetro) montado em borracha de silicone que o fazia projetar 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, eletronicamente gravados e transferidos para um papel à semelhança de um eletrocardiograma. Durante o uso, a ponta do tonômetro 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 (MOSES et al., 1962). Este tonômetro foi bastante difundido e utilizado com sucesso para estimar a PIO em cães (PRIEHS; GUM; WHITLEY; MOORE, 1990), para os quais foi inclusivamente aceito como o tonômetro 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 bulbo ocular não foi possível obter medições (GÖRIG; SCHOEMAKER; STADES; BOEVÉ, 2005). Apesar do seu bom desempenho e de ser considerado como o tonômetro de aplanção mais confiável para medição de PIO na maioria das espécies animais descritas, não é fabricado atualmente (GÖRIG et al., 2006), tendo sido substituído por um instrumento análogo. Uma versão portátil e operável a bateria do tonômetro de Mackay-Marg, desenhado em princípio para uso exclusivo em humanos: o Tono-Pen (MILLER et al., 1991; KNIESTEDT et al., 2008).

O Tono-Pen corresponde a um tonômetro de Mackay-Marg miniaturizado dotado de análise eletrônica de sinais e um mostrador digital de pressão (HESSEMER; RÖSSLER; JACOBI, 1989). O instrumento consiste em 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), o qual realiza movimentos na ordem dos micrômetros quando em contato com a córnea (BOOTHE; LEE; PANEK; PETTIT, 1988). Pressionando o instrumento contra a córnea ativa-se um extensômetro que detecta a força gerada pelo êmbolo para aplanar a córnea. À medida que o resto da ponta do tonômetro entra em contato 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 tonômetro 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. Este tonômetro 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. 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 do tonômetro é coberta por uma membrana de látex estéril e descartável chamada Ocu-film<sup>®</sup>. Após três a cinco medidas independentes serem realizadas com sucesso, o instrumento exibe 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 tonômetro apresenta um intervalo de medição indicado pelo fabricante abrangendo desde 5 a 80 mmHg. Posteriormente ao lançamento do tonômetro Tono-Pen XL<sup>®</sup> foi lançado o Tono-Pen Vet<sup>®</sup>. Este apresenta todas as especificações do Tono-Pen XL<sup>®</sup> 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, 2014).

A facilidade e comodidade de uso deste tonômetro permitiu a sua difusão crescente na medicina veterinária. Vários estudos foram realizados em diferentes espécies, fornecendo uma série de informações sobre a PIO e ampliando a possibilidade de utilização deste instrumento para além da clínica de animais de companhia (GELATT; MACKAY, 1998) e gatos

(MILLER et al., 1991), este tonômetro foi também já testado, com bons resultados, em coelhos (ABRAMS; VITALE; JAMPEL, 1996), ovinos e bovinos (PASSAGLIA et al., 2004). Medição da PIO num exemplar de Milhafre real (*Milvus milvus*) com o tonômetro Tono-Pen Vet<sup>®</sup>, 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) ratos (MOORE; MILNE; MORRISON, 1993), emas (MARCHAN e OLIVEIRA, 2015), dentre outras espécies.

Korbel e Braun 1999, obteve investigações tonométricas em olhos saudáveis de 247 aves sendo de 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 tonômetro de aplanção Tono-Pen XL<sup>®</sup> permitia obter valores confiáveis 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.

Este método indireto de medição da pressão intraocular (PIO), deve ser um passo obrigatório do exame oftálmico ornitológico, pois permite uma detecção precoce de flutuações patológicas na PIO, necessária para estabelecer um tratamento eficaz (KORBEL; BRAUN, 1999; MAGGS, 2008).

## 2.14 Ecografia ocular

A ultrassonografia tem sido utilizada desde 1956 para o diagnóstico de doenças oculares em seres humanos (MUNDT et al., 1956). A ultrassonografia ocular veterinária foi descrita pela primeira vez em 1968 (RUBIN et al., 1968). Relatos antigos descreviam a ultrassonografia em amplitude de tempo (modo-A). A utilização da ultrassonografia modo-B, brilho e em tempo real no diagnóstico de doenças oculares em veterinária, foi descrita em 1980 (JOHNSTON et al., 1980). É um instrumento diagnóstico valioso, pois permite a avaliação do interior do olho, que pode estar obscuro à observação direta por causa de qualquer doença que cause opacidade em qualquer uma das estruturas do eixo óptico visual como a córnea e a lente. Além disso, os tecidos moles retrobulbares podem ser visibilizados. Embora a ultrassonografia seja um excelente método para se obter imagens oculares, a

importância de um exame clínico, cuidadoso e completo, do olho não pode ser subestimada (NYLAND; MATTOON, 2013).

Os transdutores dos aparelhos ultrassonográficos são os responsáveis pela definição de ondas sonoras que serão empregadas nos diferentes tipos de exames, sendo que essa frequência deve ser correlacionada à profundidade da estrutura avaliada, a fim de obter imagens de melhor definição (RODRIGUES JUNIOR, 2008; BESERRA, 2009). Em oftalmologia veterinária, frequências altas aproximadas a 10 MHz são necessárias para avaliação do bulbo e da órbita. A superfície ocular, a câmara anterior, o ângulo de drenagem iridocorneano e a íris podem ser explorados com transdutores de 20 a 50 MHz, com os quais são obtidas imagens harmônicas de alta resolução e com baixo poder de penetração ocular (GONÇALVES et al., 2009; SHUNG, 2009).

A ultrassonografia modo-B em tempo real, é o tipo mais comum disponível para veterinários. Por permitir a visibilização de uma imagem bidimensional, a anatomia é facilmente distinguível. Esse fato contrasta-se à ultrassonografia em modo-A, na qual os ecos de retorno são demonstrados como picos em um gráfico com eixos vertical e horizontal. Os padrões dos ecos em modo-A indicam a composição interna das lesões e os ecos anterior e posterior permitem sua mensuração e caracterização. O modo-A tem provado ser uma modalidade de imagem valiosa e sua utilização em medicina veterinária foi limitada a práticas oftalmológicas específicas (KATHY SPAULDING, 2011).

### **2.15 Técnicas de varredura**

A maioria dos animais podem ser examinados sem a utilização de sedação, a menos que o animal esteja agitado por causa do seu temperamento ou da dor. Se o paciente estiver anestesiado, o bulbo ocular tende a fazer rotação ventralmente, por este motivo, o anestésico tópico é o fármaco de escolha para fazer analgesia ocular, sendo aplicado na dose de uma a duas gotas sobre a córnea, 2 a 5 minutos antes do exame (KATHY SPAULDING, 2011). Pequenos afastadores podem ser utilizados para manter as pálpebras abertas (NYLAND; MATTOON, 2013).

Exame em Modo-B e em tempo real, transdutores de alta frequência com 7,5 a 15 MHz são bastante adequados para exame ocular por causa da capacidade de alta resolução e zonas focais superficiais inerentes (1 a 4 cm) e transdutores de frequências menores podem

ser mais adequados para estruturas retrobulbares, principalmente em pacientes maiores (HALTER et al., 1987).

Existem duas técnicas básicas de ecografia ocular modo-B. A técnica corneana e a técnica palpebral, também chamada de transpalpebral. Na técnica corneana o transdutor é posicionado diretamente sobre a córnea, após a anestesia ocular tópica e limpeza apropriada da extremidade do transdutor. As pálpebras são abertas manualmente e o transdutor é posicionado gentilmente sobre a córnea. Pode ser utilizado gel acústico estéril, embora não seja necessário, pois o fluído do anestésico tópico e o filme lacrimal proporcionam acoplamento adequado. Esta técnica permite melhor visualização das estruturas vitreoretinianas e retrobulbares. As imagens da córnea, das estruturas oculares anteriores e da lente requerem a utilização de almofada de silicone. A almofada de silicone geralmente é empregada para visualizar a maioria das estruturas superficiais do olho, tais como córnea, a câmara anterior, o corpo ciliar e a cápsula lenticular anterior, esse recurso possibilita o posicionamento dessas estruturas superficiais na zona focal do transdutor (NYLAND; MATTOON, 2013). Na técnica palpebral o transdutor é posicionado diretamente na pálpebra e requer o emprego de gel acústico. A tricotomia da pálpebra melhora a qualidade da imagem ao reduzir a quantidade de ar entre o transdutor e a pele. Essa técnica permite a avaliação adequada da câmara vítrea, da retina e das estruturas orbitais mais profundas (NYLAND; MATTOON, 2013).

As imagens sagital, dorsal e transversal do olho devem ser obtidas durante cada avaliação. O feixe de ultrassom deve ser posicionado no eixo tópico para produzir uma imagem padrão. A porção anterior da imagem deve estar no topo da tela, a porção caudal, na parte inferior. Estruturas nasais (mediais) e temporais (laterais) são posicionadas à direita ou à esquerda na tela, sem uma padronização. O importante é que o examinador deve estar atento à orientação da imagem para que alterações patológicas possam ser localizadas com precisão. O olho pode então, ser examinado em varredura circular para permitir a visualização de todo o bulbo ocular e das estruturas retrobulbares. Os tecidos retrobulbares podem ser identificados através do olho ou pelo posicionamento do transdutor temporal e caudalmente ao bulbo ocular e ao ligamento orbital (STUHR et al., 1996).

Planos oblíquos selecionados são utilizados para delinear melhor uma lesão. Todo o bulbo recebe varredura sistematicamente com movimentos circulares (KATHY SPAULDING, 2011).

Existem três métodos primários para formar a imagem do bulbo ocular: diretamente sobre a córnea, através da pálpebra ou mediante irrigação sobre o olho. A formação da



imagem com o transdutor aplicado diretamente sobre a córnea, é o método mais frequentemente utilizado, pois produz imagens de maior qualidade. Artefatos e degradação da imagem ocorrem quando se obtém a imagem através das pálpebras. A técnica de formação da imagem através da pálpebra cerrada é recomendada quando houver úlcera corneal profunda, traumatismo grave recente ao bulbo ou cirurgia ocular recente. Usar a irrigação ajuda a formar a imagem no campo anterior (câmara anterior). Entretanto, a irrigação é embaraçosa para manter na posição e não frequentemente utilizada ou necessária com o equipamento atual de ultrassom. Os transdutores de alta resolução, recentemente disponíveis, possuem irrigador adaptado ao transdutor ou não necessitam de irrigação para formar a imagem das estruturas superficiais do bulbo (KATHY SPAULDING, 2011).

Transdutores com a variação de 7,5 a 50 MHz são utilizados para formar imagem do bulbo e da órbita. Na biomicroscopia ultrassônica, os transdutores de 25 a 50 MHz geralmente são específicos para uso ocular, porque são preparados para formar a imagem de estruturas do campo proximal (segmento anterior). São excelentes para resolução da córnea, da câmara anterior, da íris, do corpo ciliar e da lente. O corpo vítreo e a área retrobulbar frequentemente formam a melhor imagem com transdutores de 7,5 a 13 MHz.

O transdutor linear fornece ótima imagem das estruturas do campo proximal, porém, manipular um transdutor setorial ou convexo/microconvexo com pequena área de varredura pode ser mais fácil (KATHY SPAULDING, 2011).

## **2.16 Anatomia ecográfica ocular**

Na avaliação axial ocular, é possível observar duas interfaces levemente ecogênicas e tênues, separadas por um fino espaço anecogênico, demonstrando o segmento anterior, passível de avaliação somente sobre modo de imersão em determinadas situações, como em olhos extremamente pequenos (CARVALHO, 2004). A utilização de transdutores de 10MHz não permite visibilizar alterações significativas na córnea, em decorrência da sua delgada espessura, sendo necessárias sondas com frequência superior a 40MHz (KIM et al., 2008).

A câmara anterior, em situações de normalidade apresenta-se como espaço pequeno e anecogênico entre a face posterior da córnea e a cápsula anterior da lente. Por ser preenchida pelo humor aquoso, a câmara anterior na avaliação em modo-A, não apresenta atenuação da onda sonora e, com isso, não produz picos. A íris e o corpo ciliar não possuem diferenciação

ultrassonográfica entre si. Ambos são evidenciados como uma estrutura levemente triangular e ecogênica na região periférica-equatorial do bulbo ocular. Em modo-B, através do corte transversal na região equatorial do bulbo ocular, pode-se visibilizar todo tecido iridiano como também o diafragma da íris. A partir de um pico de intensidade média em modo-A, próximo ao pico que representa a cápsula anterior da lente, observa-se local do tecido uveal anterior, representado pela íris e corpo ciliar (GUTHOFF, 1993). A lente é observada como uma estrutura moderadamente cilíndrica, de conteúdo interno anecogênico, com as faces anterior e posterior de sua cápsula ecogênicas, disposta no terço proximal do bulbo do olho (NYLAND; MATTOON, 1995). A câmara vítrea é o maior compartimento ocular, não possui ecos ao modo-A, pois seu conteúdo interior assemelha-se a um gel. Pode ser evidenciado à ultrassonografia, a partir da cápsula posterior da lente até a parede posterior do bulbo ocular, como de aspecto anecogênico homogêneo (HIJAR, 2008). A parede posterior do bulbo é avaliada a partir da porção caudal da íris e do corpo ciliar até a região do nervo óptico, apresentando formato côncavo e aspecto isoecogênico ao tecido orbitário e mais ecogênico quando comparado ao tecido muscular extraocular. A parede posterior não permite a individualização entre o complexo retina-coroide-esclera, assim ao modo-A observa-se somente um pico de intensidade média posteriormente ao espaço vítreo (GUTHOFF, 1993). A ultrassonografia do espaço orbitário é observada como uma cavidade heterogênea em decorrência dos diferentes tecidos e estruturas presentes em seu interior (EISEMBERG, 1985).

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Local**

Foram utilizados animais do Parque das Aves na cidade de Foz do Iguaçu - PR e do Zoológico Municipal de Cascavel - PR.

### **3.2 Escolha dos animais**

Estes animais encontram-se alocados em recintos próprios caracterizados para a espécie, recebem suporte nutricional adequado, suporte médico e de enfermagem sempre que necessário. Detêm histórico clínico por meio de identificação de microchip. São capturados a cada 6 meses, quando passam por uma avaliação clínica geral, são vermifugados e pesados. Para a realização deste projeto, foram aguardadas essas datas de captura previamente agendadas, aproveitando assim o manejo semestral dos animais.

### **3.3 Avaliação dos recintos pré e pós exame**

Uma semana precedente às avaliações oftálmicas, os recintos (Figura 1) dos animais foram observados diariamente, com intuito de identificar possíveis alterações nos animais. Todo animal que apresentavam qualquer alteração, desde fezes alteradas, inapetência, até escore corporal baixo, foram retirados do projeto.

Após as avaliações oftálmicas os recintos bem como seus indivíduos foram observados diariamente durante uma semana, frente a qualquer alteração apresentada, eram avaliados e, se necessário, retirados do projeto.



Figura 1 – Recinto dos Tucanos-de-bico-verde e Tucanos-toco no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR

### **3.4 Temperatura ambiente dos dias das avaliações**

Para que não houvesse uma grande diferença da temperatura ambiente entre as avaliações e, possível influência nos níveis da pressão intraocular, os exames foram realizados com temperatura de  $23\pm 3$  graus Celsius. Foi preconizado iniciar as avaliações próximo das 09 horas da manhã, ou após as 14 horas evitando assim, temperaturas muito altas ou muito baixas. Independente do horário de início, não foram realizadas mensurações antes das 8 horas da manhã, entre as 12 horas até as 14 horas ou após as 18 horas.

### **3.5 Local das avaliações oftálmicas**

As avaliações oftálmicas foram realizadas em recinto anexo (Figura 2) ao recinto dos animais, assim minimizando o estresse dos animais, devido à permanência de pessoas dentro deste recinto, e também evitando colocar os animais em gaiolas de contenção antes do exame.

Os animais foram capturados um a um, ou seja, um indivíduo era capturado, todo exame era realizado e posterior ao exame, o animal era solto em outro recinto ou em gaiolas de contenção.



Figura 2 – Recinto anexo, no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR

### 3.6 Captura dos animais

Como mencionado anteriormente, os animais foram capturados um por vez. Este trabalho foi realizado pelos tratadores com auxílio de um puçá, devido à experiência dos mesmos na contenção dos animais, assim, minimizando o estresse.

Após a captura, os animais eram retirados do puçá, e evitava-se a contenção mecânica principalmente da região cervical. Esta etapa do trabalho foi realizada com muita cautela, até que o animal estivesse completamente contido. Normalmente um segundo tratador auxiliava esta etapa.

### 3.7 Avaliação clínica

Após a captura, os animais foram avaliados clinicamente de uma forma rápida, quando foram observados escore corporal, exame visual geral das asas e penas e exame dos membros e bicos (Figuras 3 e 4) Animais com alterações fora do padrão de normalidade para a espécie foram excluídos do projeto.



Figura 3 – Avaliação clínica em um Tucano-toco no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR



Figura 4 – Avaliação clínica em um Tucano-de-bico-verde no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR

### 3.8 Avaliação oftálmica geral pré-tonometria e ecografia ocular

A avaliação oftálmica pré-tonometria e ecografia ocular foi realizada na seguinte ordem:

- a) Exame visual da órbita e bulbo. Neste exame somente avaliava-se o animal visualmente. Foram avaliados os anexos oculares como pálpebra, terceira pálpebra, penas ao redor da órbita e propriamente o bulbo em caráter de avaliação conjuntival e simetria entre os bulbos oculares.
- b) Avaliação por meio de transiluminação e transposição com lente de 20 de dioptria (D) Opto<sup>®</sup> (Figura 5).
- c) Biomicroscopia em lâmpada de fenda. Nesta etapa foi utilizado o biomicroscópio PLS<sup>®</sup> da Reichert<sup>®</sup> com aumento de 18 vezes (Figura 6). Córneas com sinais de ceratite e ou ceratite ulcerativa, foram coradas por fluoresceína e posteriormente por lissamina verde, e em casos positivos para o corante, o animal foi excluído do experimento.

- d) Oftalmoscopia direta. Foram utilizados os oftalmoscópios da Welch Allyn® modelo Panoptic® e Pocket Junior 12850® (Figura 7 e 8). Não foi realizada nenhuma manobra para obtenção de midríase para o exame.



Figura 5 – Avaliação de um Tucano-toco por meio de transiluminação e transposição com lente de 20 dioptria (D) Opto® no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR





Figura 6 – Biomicroscopia em lâmpada de fenda com o biomicroscópio PLS<sup>®</sup> da Reicher<sup>®</sup> em um Tucano-toco no Zoológico Municipal de Cascavel - PR



Figura 7 – Oftalmoscopia direta em Tucano-toco utilizando o oftalmoscópio direto da Welch Allyn<sup>®</sup> modelo Pocket Junior 12850<sup>®</sup> no Parque das Aves em Foz do Iguaçu - PR



Figura 8 – Oftalmoscopia direta em Tucano-toco utilizando o oftalmoscópio direto da Welch Allyn® modelo Panoptc® no Zoológico Municipal de Cascavel - PR.

### 3.9 Realização da tonometria de aplanção

Foram utilizados 15 Tucanos-toco (*Ramphastos toco*) e 15 Tucanos-de-bico-verde (*Ramphastos dicolorus*), sem sexagem definida e com idade variada, porém adultos.

O tonômetro utilizado foi o tonômetro de aplanção Tono-Pen VET® da Reicher®.

O tonômetro foi calibrado ao início das avaliações e todas as vezes que o projeto ultrapassou um período de 6 horas ou quando foram realizadas mais de 10 mensurações seguidas o tonômetro foi calibrado novamente. Todos os olhos receberam tonometria com Ocul-film® individual, evitando assim possíveis contaminações.

Os animais receberam uma gota de colírio Anestésico® em cada olho (Figura 9) e foram aguardados 3 minutos após a instilação para o início das mensurações.

A tonometria foi realizada com os animais em posição vertical (Figura 10, 11 e 12) e sem previa manipulação ocular ou mesmo de pálpebras. Juntamente aos tratadores que faziam a contenção, o crânio foi segurado com a mão esquerda e com a mão direita segurava-se o tonômetro e tocava-se a córnea sutilmente 3 a 5 vezes até que o tonômetro realizasse a média e subsequente obtenção da PIO. Neste experimento foram aceitos somente erros menores que 5% de desvio padrão.



Figura 9 – Tucano-toco recebendo uma gota do colírio Anestésico<sup>®</sup> no olho esquerdo, no Parque das Aves na cidade de Foz do Iguaçu - PR



Figura 10 – Tonometria do olho direito de um Tucano-de-bico-verde no Parque das Aves na cidade de Foz do Iguaçu - PR

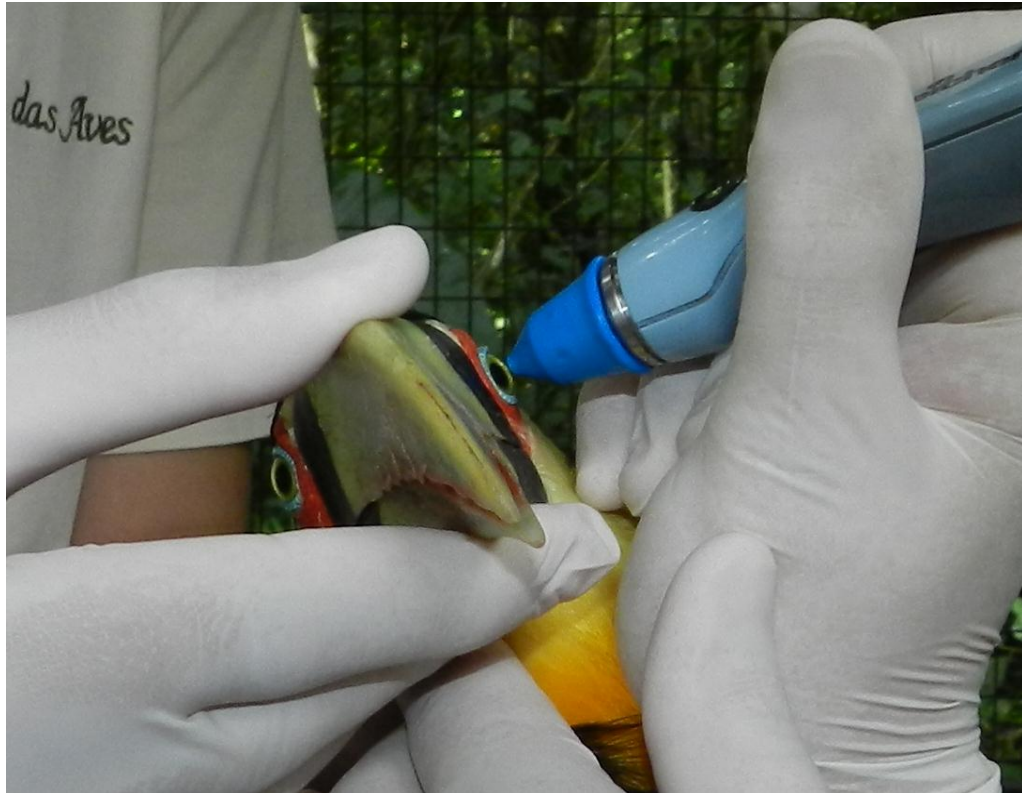


Figura 11 – Tonometria do olho esquerdo de um Tucano-de-bico-verde no Parque das Aves na cidade de Foz do Iguaçu – PR.



Figura 12 – Tonometria no olho direito de um Tucano-toco no Zoológico Municipal de Cascavel – PR

### 3.10 Realização da ecobiometria ocular

Nesta etapa foram utilizados 5 Tucanos-toco (*Ramphastos toco*) e 5 Tucanos-do-bico-verde (*Ramphastos dicolorus*), sem sexagem definida e com idade variada, porém adultos. Os animais foram escolhidos pela ordem de captura, ou seja, o terceiro animal, o sexto animal, o nono animal, o décimo segundo animal e o décimo quinto animal.

Para a realização da ecobiometria ocular, foi utilizado o aparelho de ultrassonografia Mindray® DP-50 VET com transdutor micro convexo e frequência de 9 mega-hertz.

O exame ecográfico ocular foi realizado após a aplicação de gel para ultrassom e após a anestesia tópica ocular.

A técnica utilizada foi a transpalpebral, pela qual foram realizados dois cortes básicos de varredura, o plano dorsal (9h) (Figura 13, 14 e 15) e o plano sagital (12h) (Figura 16, 17 e 18). Para minimizar o estresse, as imagens foram salvas no aparelho para posterior avaliação e construção da ecobiometria que foi realizada no corte plano dorsal (9h) e que consistiu em:

- a) Avaliação do eixo axial bulbar;
- b) Avaliação do eixo axial do segmento anterior do olho, avaliação do eixo axial e transversal do segmento posterior do olho;
- c) Avaliação do eixo axial e transversal da lente.

Além da ecobiometria, as estruturas oculares, segmento anterior, lente, câmara vítrea, pecten, posicionamento da retina e espaço retrobulbar também foram observados;

O tempo da duração dos exames foi cronometrado.

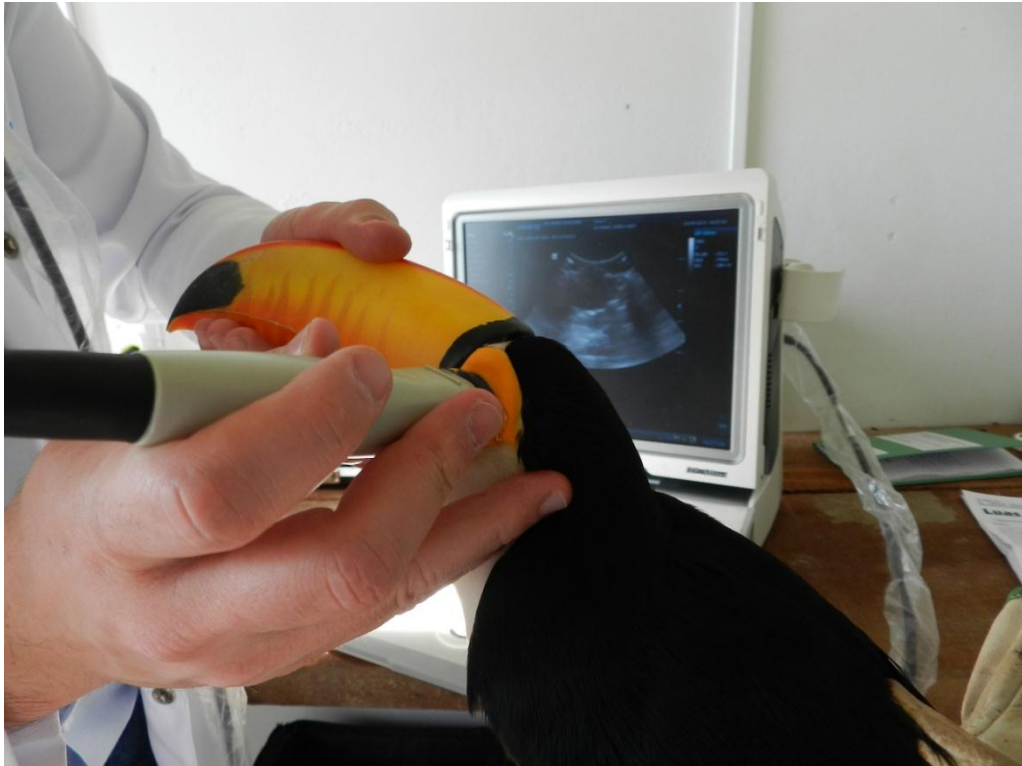


Figura 13 – Ecografia ocular em Tucano-toco. Plano de corte é o dorsal (9 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR

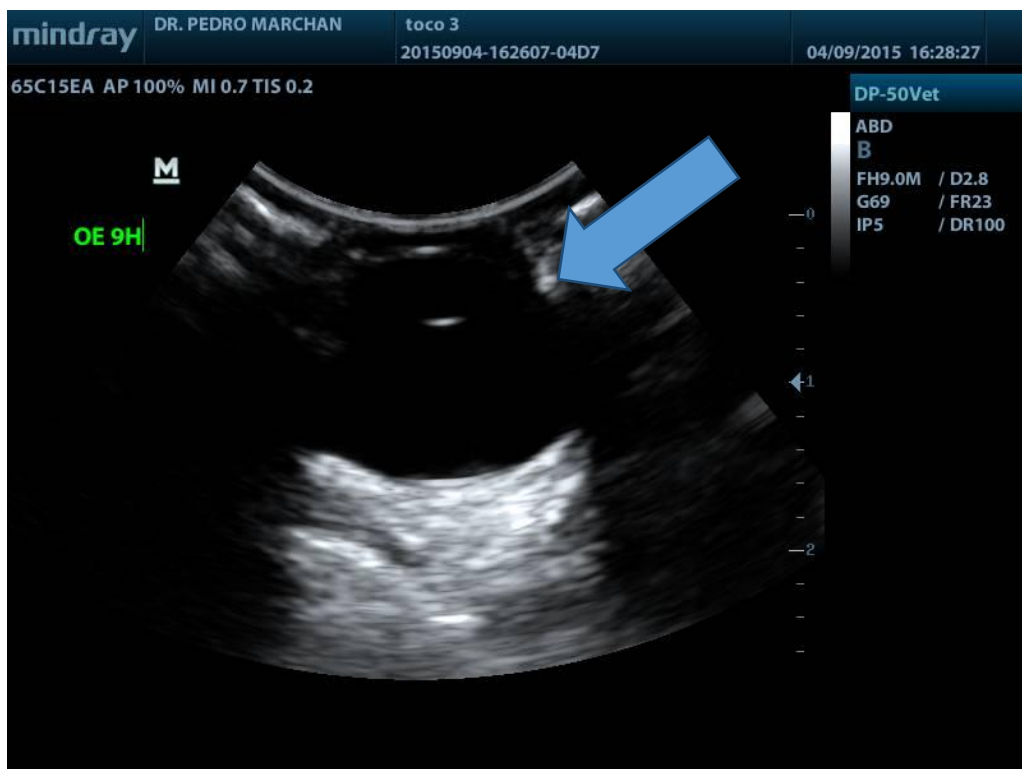


Figura 14 – Imagem ecográfica ocular de um Tucano-toco. Plano de corte é o dorsal (9 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR

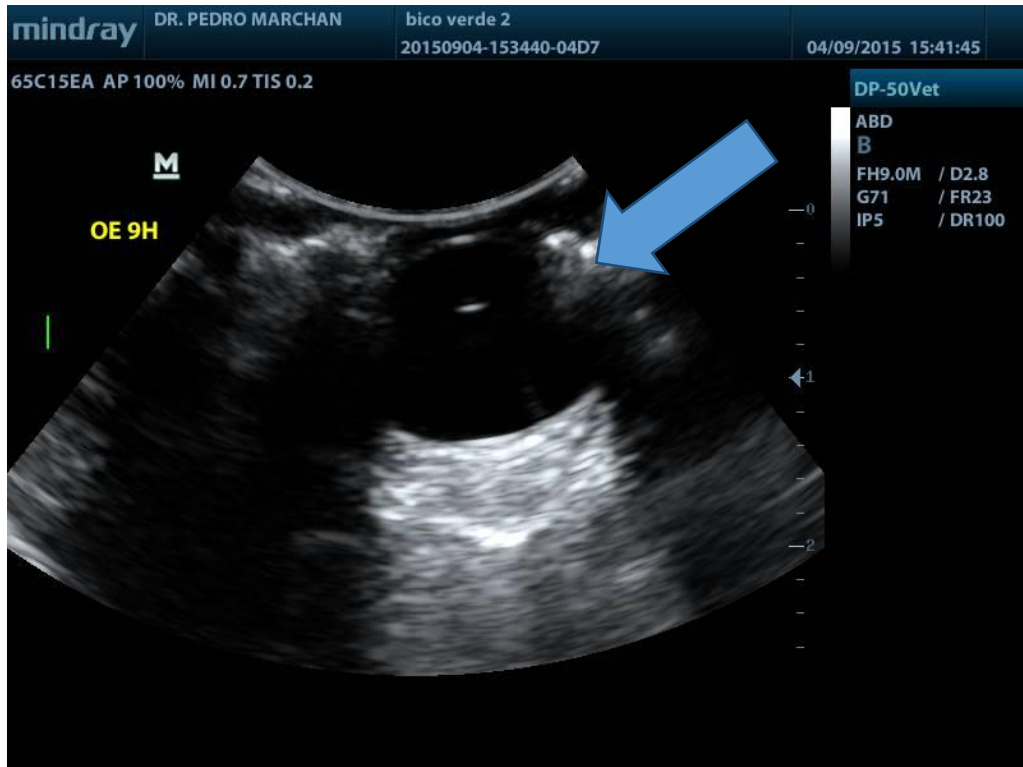


Figura 15 – Imagem ecográfica ocular de um Tucano-de-bico-verde. Plano de corte é o dorsal (9 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR



Figura 16 – Ecografia ocular em Tucano-toco. Plano de corte é o sagital (12 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR

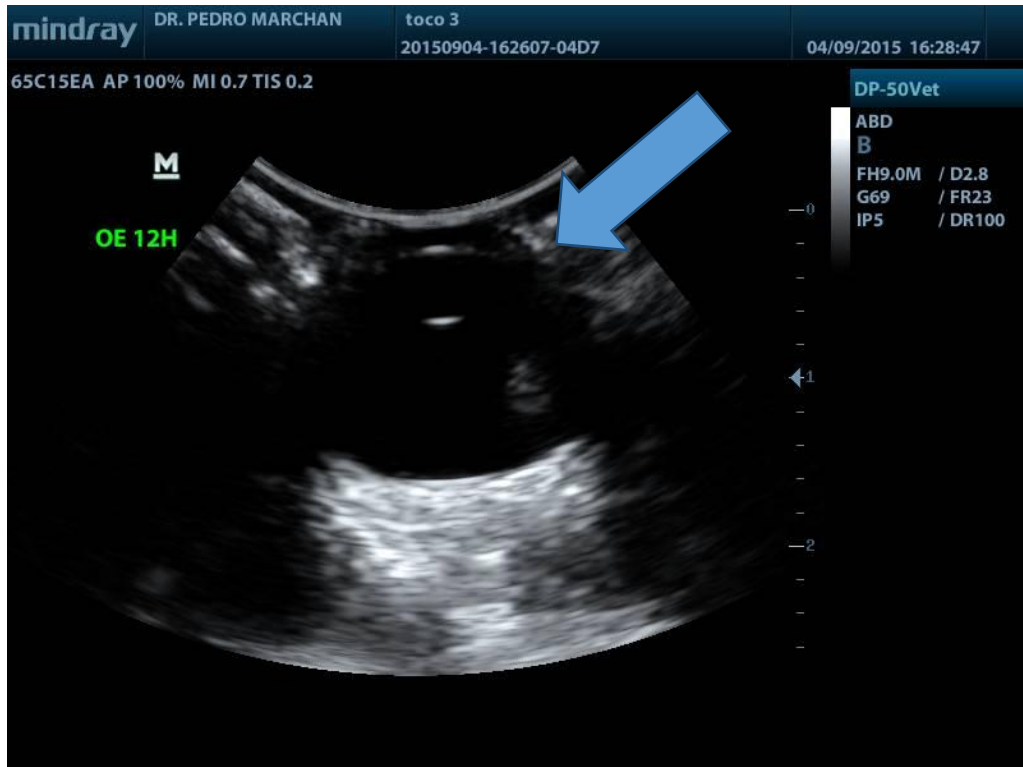


Figura 17 – Ecografia ocular em Tucano-toco. Plano de corte é o sagital (12 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR

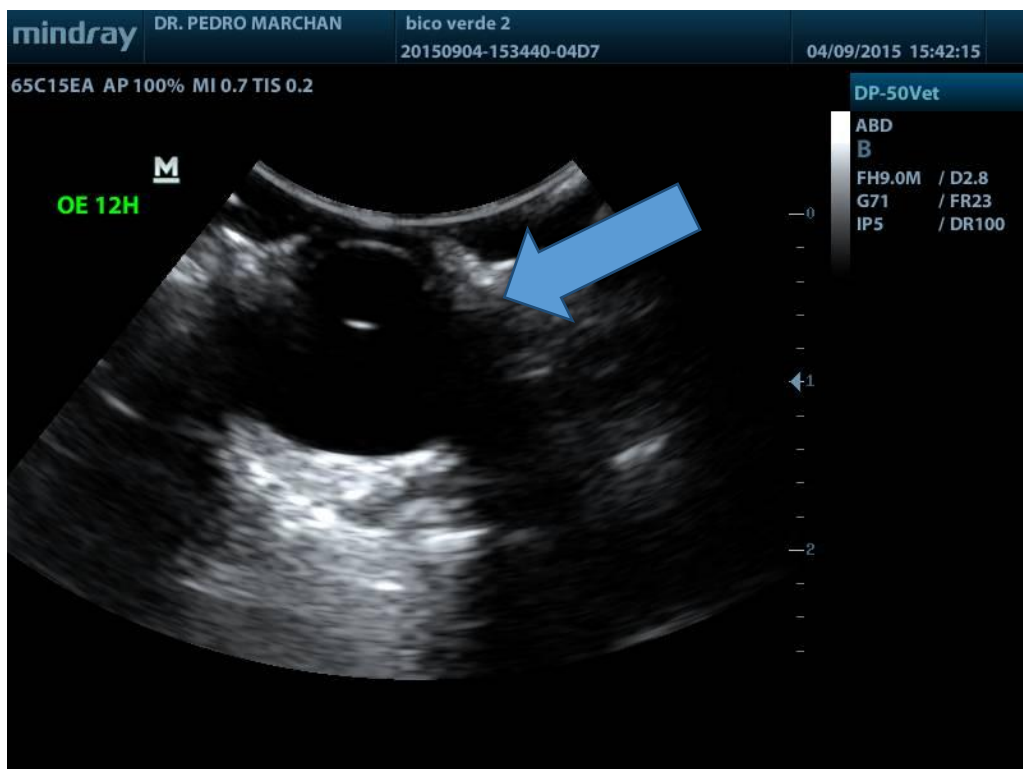


Figura 18 – Ecografia ocular em Tucano-de-bico-verde. Plano de corte é o sagital (12 horas). Exame realizado no Zoológico Municipal de Cascavel - PR



### **3.11 Análise estatística**

Os testes estatísticos utilizados para avaliação da pressão intraocular foram o teste de média, avaliação do desvio padrão, análise de variância e o coeficiente de variação. Já para as ecografias oculares, foi utilizado o teste de média.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Tonometria de aplanção

Tabela 1 – Tonometria dos 15 Tucanos-de-bico-verde e dos 15 Tucanos-toco com as pressões intraoculares individuais dos olhos esquerdos e direitos

Nome	Espécie	PIO OD (mmHg)	PIO OE (mmHg)
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	21	15
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	14	13
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	14	16
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	7	7
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	18	15
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	18	18
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	19	16
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	12	12
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	18	23
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	7	17
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	18	21
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	8	11
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	15	15
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	11	10
Tucano-de-bico-verde	<i>Ramphastos dicolorus</i>	13	11
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	12	14
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	14	16
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	17	16
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	15	17
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	22	15
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	13	13
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	19	19
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	10	12
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	15	14
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	20	23
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	17	21
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	16	16
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	16	20
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	13	16
Tucano-toco	<i>Ramphastos toco</i>	11	9

Tabela 2 – Dados estatísticos dos olhos direito e esquerdo e a média geral estatística de ambos os olhos dos Tucanos-de-bico-verde

<b>Pressão intraocular olho direito</b>			
Média = 14,2 mmHg	Desvio padrão = 4,52	Variância = 20,46	Coefficiente de variação = 31,83%
<b>Pressão intraocular olho esquerdo</b>			
Média = 14,67 mmHg	Desvio padrão = 4,2	Variância = 17,67	Coefficiente de variação = 28,63%
<b>Média geral dos olhos direito e esquerdo</b>			
Média = 14,43 mmHg	Desvio padrão = 4,3	Variância = 18,46	Coefficiente de variação = 29,80%

Tabela 3 – Dados estatísticos individuais dos olhos direito e esquerdo e a média geral estatística de ambos os olhos dos Tucanos-toco

<b>Pressão intraocular olho direito</b>			
Média = 15,33	Desvio padrão = 3,35	Variância = 11,24	Coefficiente de variação = 21,85%
<b>Pressão intraocular olho esquerdo</b>			
Média = 16,07	Desvio padrão = 3,61	Variância = 13,07	Coefficiente de variação = 22,46%
<b>Média geral dos olhos direito e esquerdo</b>			
Média = 15,70	Desvio padrão = 3,45	Variância = 11,87	Coefficiente de variação = 21,97%

Realizando uma estimativa da média populacional considerando os dados amostrais obtidos acima e considerando o desvio padrão populacional desconhecido, será utilizado a seguinte fórmula:

$$\bar{x} \pm t_{\alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

S é o desvio padrão da amostra,  $(1-\alpha)$  é o coeficiente de confiança e  $t_{\alpha/2}$  é o valor t que produz uma área igual a  $\alpha/2$  na cauda superior da distribuição t, com  $n - 1$  grau de liberdade.

Assim, para os Tucanos-de-bico-verde com 95% de confiança, ou seja  $\alpha = 5\% = 0,05$  e  $n-1 = 15 - 1 = 14$  graus de liberdade a tabela de distribuição t de uma área  $\alpha/2$  ( $0,05/2 = 0,025$ ) na cauda superior é  $t_{\alpha/2} = 2,145$ . Logo temos:

$$14,43 \pm 2,145 \cdot \frac{4,3}{\sqrt{15}}$$

$$14,43 \pm 2,38$$

Desse modo, temos 95% de confiança em que a média populacional dos Tucanos-de-bico-verde tem a pressão intraocular entre 12,05 mmHg e 16,81 mmHg

De modo semelhante para os Tucanos-toco obtemos:

$$15,70 \pm 2,145 \cdot \frac{3,45}{\sqrt{15}}$$

$$15,70 \pm 1,91$$

Assim foi obtido, 95% de confiança em que a média populacional dos Tucanos-toco tem a pressão intraocular entre 13,79 mmHg e 17,61 mmHg.

## 4.2 Ecografia ocular para identificação das estruturas anatômicas

Tabela 4 – Estruturas anatômicas identificadas (marcadas com um X na tabela) por meio da ecografia ocular nos cortes sagital e dorsal (Figuras 19 e 20)

<b>Plano sagital</b>					
Segmento anterior	Lente	Câmara vítrea	Pécten	Posicionamento da retina	Espaço retrobulbar
X	X	X	X	X	X
<b>Plano dorsal</b>					
Segmento anterior	Lente	Câmara vítrea	Pécten	Posicionamento da retina	Espaço retrobulbar
X	X	X	X	X	X

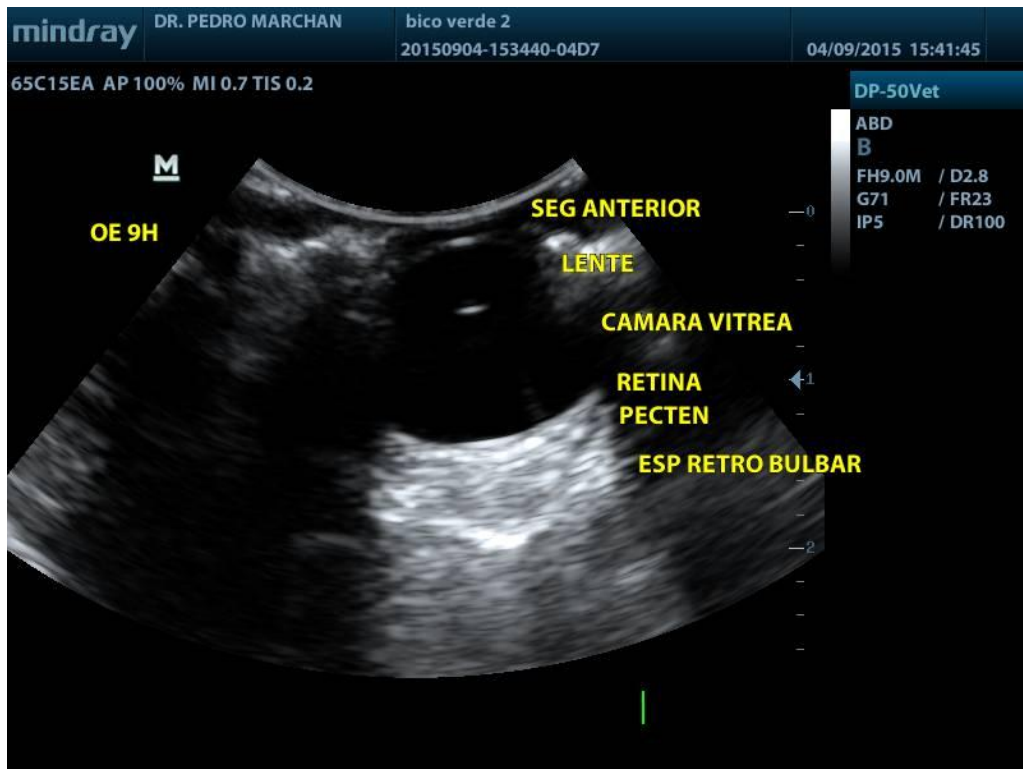


Figura 19 – Imagem ecográfica de um olho de um Tucano-de-bico-verde no plano dorsal, com detalhe das estruturas intraoculares

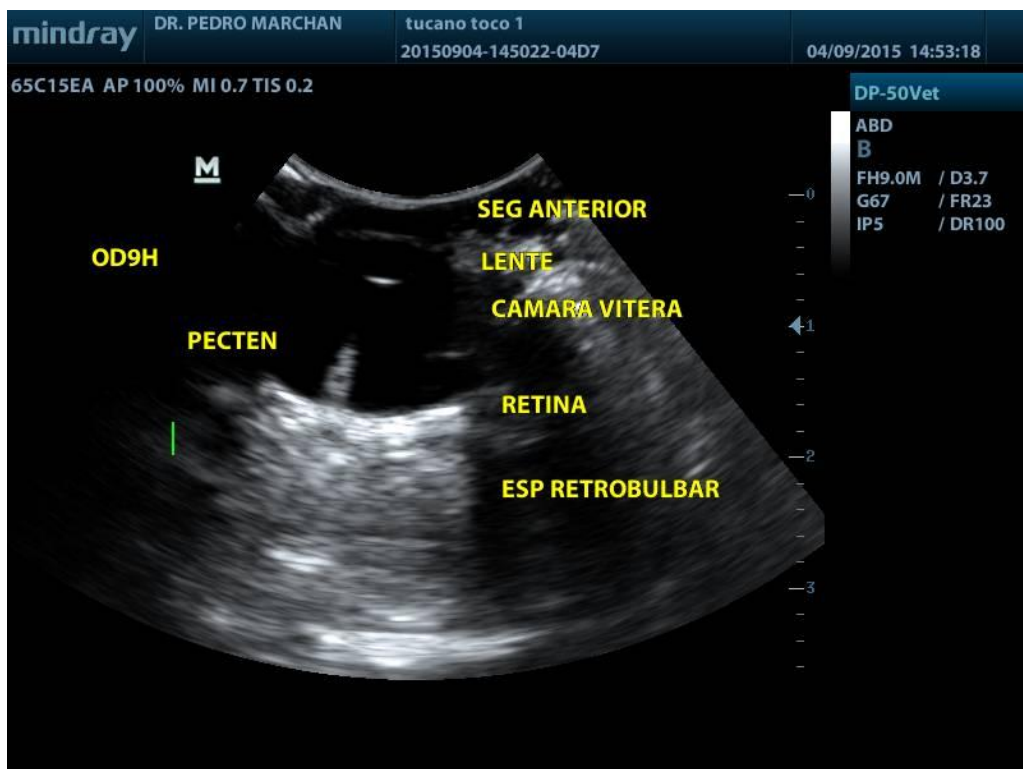


Figura 20 – Imagem ecográfica de um olho de um Tucano-toco no plano dorsal com detalhe das estruturas intraoculares

### 4.3 Tempo da realização dos exames ecográficos

Tabela 5 – Tempo individual e a média do tempo da realização da ecografia ocular em Tucanos-de-bico-verde

<b>Tucano-de-bico-verde</b>	
<b>Animal</b>	<b>Tempo</b>
Animal 1	5 minutos e 28 segundos
Animal 2	4 minutos e 43 segundos
Animal 3	4 minutos e 35 segundos
Animal 4	5 minutos e 2 segundos
Animal 5	4 minutos e 11 segundos
<b>Média geral do tempo</b>	<b>5 minutos e 3 segundos</b>

Tabela 6 – Tempo individual e a média do tempo da realização da ecografia ocular em Tucanos-toco

<b>Tucano-toco</b>	
<b>Animal</b>	<b>Tempo</b>
Animal 1	4 minutos e 38 segundos
Animal 2	4 minutos e 7 segundos
Animal 3	4 minutos e 2 segundos
Animal 4	3 minutos e 41 segundos
Animal 5	3 minutos e 49 segundos
<b>Média geral do tempo</b>	<b>4 minutos e 27 segundos</b>

#### 4.4 Ecobiometria ocular

Tabela 7 – Avaliação do eixo axial bulbar, do eixo axial do segmento anterior, do eixo axial e transversal do segmento posterior do olho, do eixo axial e transversal da lente dos Tucanos-do-bico-verde. A (Figura 21) ilustra a forma como foi mensurado cada segmento

Animais	Eixo axial bulbar (cm)	Eixo axial do segmento anterior (cm)	Eixo axial do segmento posterior (cm)	Eixo transversal do segmento posterior (cm)	Eixo axial da lente (cm)	Eixo transversal da lente (cm)
Terceiro	1,30	0,10	0,79	1,41	0,41	1,00
Sexto	1,31	0,11	0,79	1,40	0,41	0,98
Nono	1,30	0,12	0,78	1,39	0,40	1,00
Décimo segundo	1,28	0,10	0,80	1,37	0,38	0,98
Décimo quinto	1,29	0,09	0,81	1,40	0,39	0,97
<b>Média em (cm)</b>	<b>1,29</b>	<b>0,10</b>	<b>0,79</b>	<b>1,39</b>	<b>0,40</b>	<b>0,99</b>

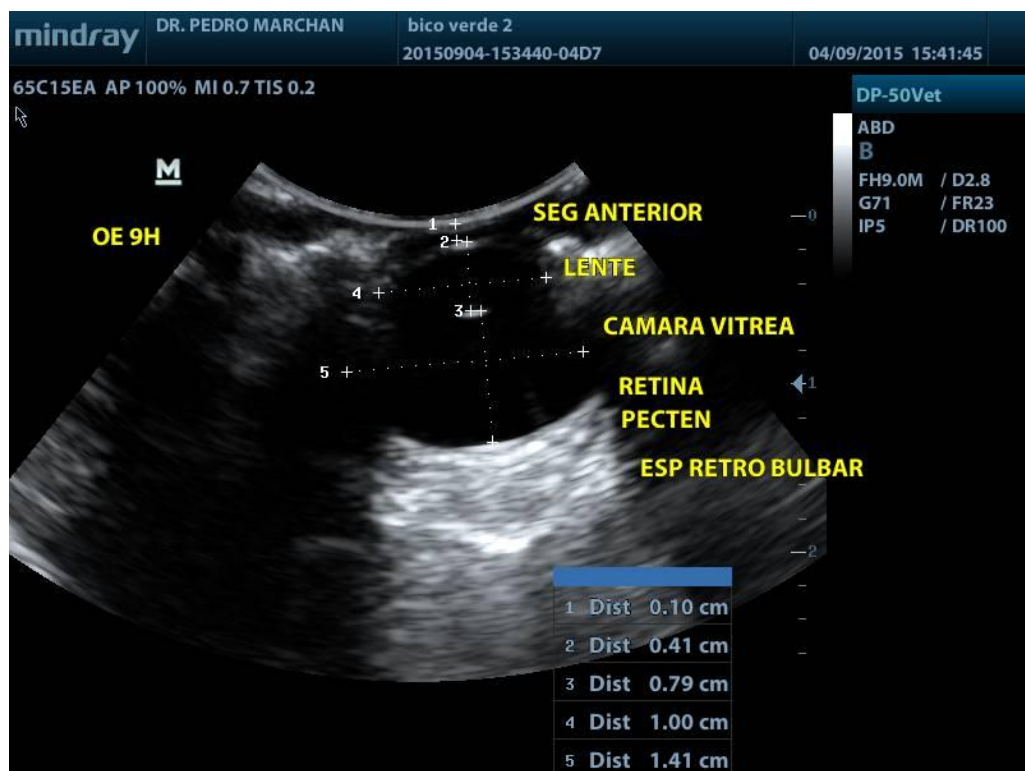


Figura 21 – Imagem ecográfica do olho de um Tucano-de-bico-verde em corte plano dorsal (9h), com as mensurações: (1) eixo axial do segmento anterior, (2) eixo axial da lente, (3) eixo axial do segmento posterior, (4) eixo transversal da lente e (5) eixo transversal do segmento posterior. Notar que o eixo axial bulbar é uma somatória das mensurações do item (1), (2) e (3)

Tabela 8 – Avaliação do eixo axial bulbar, do eixo axial do segmento anterior, do eixo axial e transversal do segmento posterior do olho, do eixo axial e transversal da lente dos Tucanos-toco. A (Figura 22) ilustra a forma como foi mensurado cada segmento

Animais	Eixo axial bulbar (cm)	Eixo axial do segmento anterior (cm)	Eixo axial do segmento posterior (cm)	Eixo transversal do segmento posterior (cm)	Eixo axial da lente (cm)	Eixo transversal da lente (cm)
Terceiro	1,65	0,24	1,05	2,20	0,36	1,22
Sexto	1,64	0,25	1,04	2,21	0,35	1,23
Nono	1,64	0,25	1,06	2,17	0,33	1,22
Décimo segundo	1,64	0,25	1,05	2,19	0,34	1,19
Décimo quinto	1,66	0,25	1,06	2,21	0,35	1,19
<b>Média em (cm)</b>	<b>1,65</b>	<b>0,25</b>	<b>1,05</b>	<b>2,20</b>	<b>0,35</b>	<b>1,21</b>

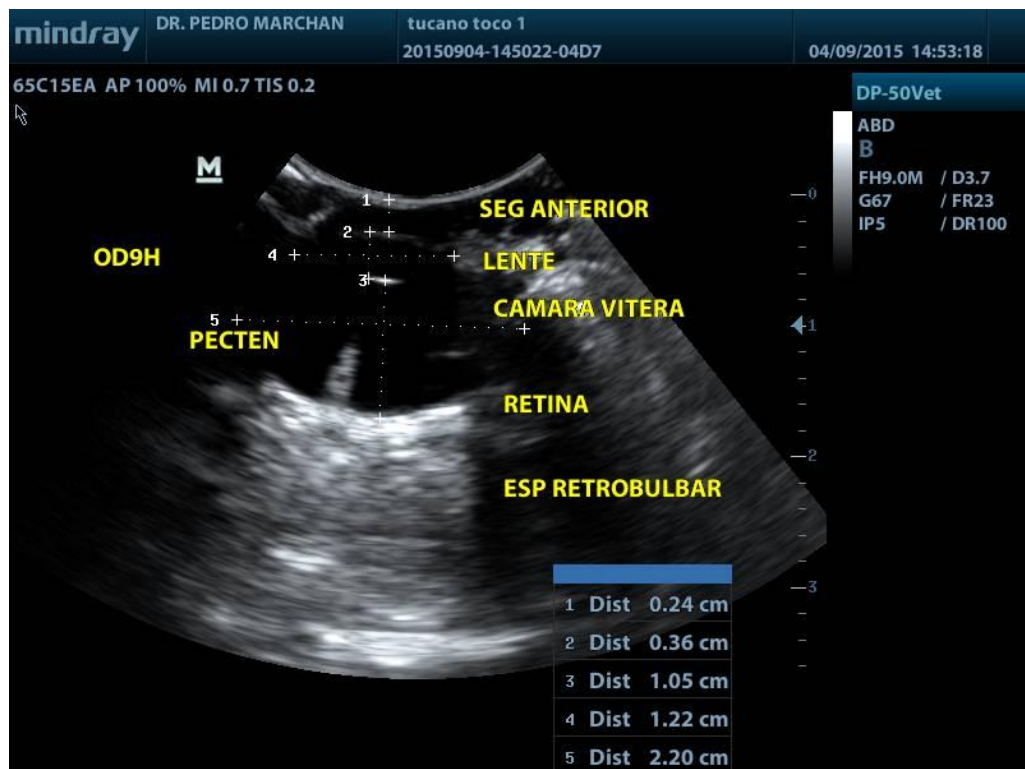


Figura 22 – Imagem ecográfica do olho de um Tucano-toco em corte plano dorsal (9h), com as mensurações: (1) eixo axial do segmento anterior, (2) eixo axial da lente, (3) eixo axial do segmento posterior, (4) eixo transversal da lente e (5) eixo transversal do segmento posterior. Notar que o eixo axial bulbar é uma somatória das mensurações do item (1), (2) e (3)



#### **4.5 Avaliação da presença de artefatos da imagem**

Não houve a presença dos artefatos de imagem abaixo listados em nenhum dos exames ecográficos realizados nos Tucanos-de-bico-verde e nos Tucanos-toco como é demonstrado nas figuras 17 e 18 anteriormente alocadas.

- a) Cauda de cometa;
- b) Reverberação;
- c) Sombra acústica;

## 5 DISCUSSÃO

Segundo Orosz, Pierce e Ward, 2007, de todos os sentidos das aves, a visão é o mais importante e uma alta acuidade visual é necessária para encontrar e adquirir alimento, para movimentação e orientação no *habitat*, defesa de território e de zonas de nidificação, identificação de conspecíficos e potenciais companheiros, bem como para eficazmente identificar e escapar de predadores. Partindo da afirmativa destes autores, é necessário avançarmos no quesito exame oftálmico para as aves, pois sentindo tamanha necessidade, a realização de um exame oftálmico completo, avaliando a PIO e as estruturas oculares por meio da ecografia ocular, torna possível a identificação precoce, com mais eficiência e fidedignidade doenças e manifestações oculares, possibilitando um rápido tratamento e com isso um melhor prognóstico visual.

Um dos fatores que podem interferir no exame ecográfico são estruturas ósseas, gerando um artefato da imagem chamado sombra acústica. Tal artefato impossibilita a avaliação adjacente das estruturas, pois a alta impedância acústica óssea, impossibilita a passagem da onda ultrassonográfica, não formando ecos, por conseguinte não formando imagem. Apesar da afirmação de Cubas 2014 de que, além de existir uma cartilagem entre a esclera e a coroide existe um anel de ossículos esclerais, previamente ao experimento, pensou-se que tais estruturas pudessem interferir totalmente no exame. Porém, após a realização das ecográficas oculares notou-se que tais estruturas geraram sombra acústica suja somente na região peripulbar (região nasal e temporal), possibilitando uma avaliação completa das estruturas intraoculares e retrobulbares.

Outra preocupação foi em realizar a ecografia ocular pela via transpalpebral, pois é a via mais fácil de execução, sendo necessário avaliar esta possibilidade, com possíveis intercorrências e artefatos, pois segundo Jones *et al.*, 2007, a pálpebra superior das aves é curta e espessa, enquanto que a inferior é fina, mais comprida e mais móvel e contém um bordo tarsal fibroelástico. Devido a estas características, supunha-se que tais características poderiam gerar artefatos da imagem, porém não foram identificados artefatos por esta via, sendo uma via que pode ser utilizada para a realização de ecografias oculares em aves.

A membrana nictitante pode atravessar a córnea 15 a 20 vezes por minuto, mesmo estando as outras pálpebras fechadas (GUM; GELATT; OFRI, 1999), no entanto, este

movimento não foi detectado durante a ecografia ocular, pois além do movimento ser rápido esta estrutura tem um diâmetro muito pequeno, impossibilitando a identificação ecográfica.

A forma parcialmente hemisférica do segmento posterior do bulbo 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 (JONES et al., 2007). O presente trabalho demonstrou que na ecografia ocular dos Tucanos-toco e Tucanos-do-bico-verde o eixo axial do segmento anterior e o eixo transversal da lente, são menores que o eixo axial e transversal do segmento posterior, corroborando com a afirmativa previamente descrita na literatura.

Segundo Montiani-Ferreira et al. (2003), Moodie et al. (2001), Montiani-Ferreira, Cardoso e Petersen-Jones, (2004), as córneas dos animais sofrem alterações com a idade, no quesito espessura, porém após algumas semanas do nascimento ela se mantém em valor relativamente constante. Visto que a espessura da córnea influencia diretamente na PIO ou seja, uma córnea espessa superestima o valor da PIO e uma córnea fina subestima o valor da PIO, animais jovens foram excluídos do projeto, sendo avaliados somente animais adultos. Paquimetria corneana não foi realizada neste experimento, no intuito de minimizar a manipulação dos animais, assim gerando estresse, evitando flutuações da PIO.

A íris tem origem na porção anterior do corpo ciliar, estende-se centralmente e forma um diafragma anterior à lente, criando assim uma câmara anterior e uma posterior que se comunicam através da pupila (JONES et al., 2007). Na ecografia ocular não é possível identificar a câmara anterior e a câmara posterior separadamente, somente o segmento anterior do olho, sendo necessária realização de biomicroscopia ultrassônica para a individualização destas estruturas.

A íris das aves não responde aos agentes midriáticos convencionais usados em mamíferos, tais como a atropina, tropicamida e a fenilefrina (LOERZEL; SMITH, HOWE; SAMUELSON, 2002). Assim sendo, um agente bloqueador neuromuscular, como por exemplo, o vecurônio 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). Tal fator foi visualizado nos tucanos, pois nenhuma manobra para causar midríase foi realizada, gerando um grau de dificuldade em realizar a oftalmoscopia direta. Segundo Corrêa 2014, a realização de midríase pode causar ou ser um potencial agente da hipertensão ocular. Como o que se almejava era uma PIO fidedigna, os agentes midriáticos ou uma manobra para midríase poderiam afetar a PIO, por isso não foram usados.

O pecten é uma estrutura intraocular fortemente vascular e pigmentada. Encontra-se localizado no quadrante temporal posterior e inferior do fundo ocular, projetando-se no corpo vítreo desde o disco óptico, com o qual a sua base coincide (WALLS, 1942; KIAMA et al., 2006). Tais características foram observadas exatamente como descrito anteriormente pela literatura na ecografia ocular realizada neste experimento conforme as figuras 21 e 22.

Para evitar mensurações da PIO errôneas e alterações na ecobiometria ocular, os animais passaram por uma avaliação oftálmica básica antes do projeto pois, na uveíte onde há ruptura da barreira hematoaquosa, há conseqüentemente queda da PIO, levando a um aumento da concentração de proteínas e outras substâncias derivadas da inflamação, em um futuro, esta fibrina pode obstruir parcialmente o ângulo de drenagem gerando um glaucoma secundário de ângulo semiaberto, levando a hipertensão ocular (OFRI, 2002).

Conforme 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 por meio do sistema de drenagem (GUM et al., 1999). Devido a isto o projeto foi realizado tomando-se cuidado para evitar temperaturas muito baixas, muito altas, ou mesmo evitando-se variações bruscas da temperatura durante o dia de trabalho, no intuito de gerar fidedignidade. O experimento ocorreu em uma faixa de temperatura de 20 graus célsius a 26 graus célsius.

Dentre os fatores que aumentam a pressão intraocular nas espécies domésticas e no homem, encontra-se: o uso de instrumentos de sopro, a posição corporal, execução de ioga, uso de gravatas e coleiras apertadas, uso de óculos de natação, levantamento de peso, exercício, ingestão de cafeína, ingestão de água, e o índice de massa corporal (RIBEIRO 2011; TAMURA 2013). Motivos estes de realizarmos a mensuração da PIO com os animais em posição vertical. A contenção foi feita sempre de maneira sutil evitando o estresse e muita movimentação do animal, minimizando assim o exercício, evitando ao máximo apertar ou comprimir a região cervical e foram tomadas todas as precauções cabíveis durante o ato do exame ocular pré-tonometria para que o mesmo interferisse o mínimo possível no exame.

Segundo a literatura o aumento da PIO que acompanha variações posturais, parece resultar de um congestionamento vascular da coroide e de aumento da pressão venosa episcleral. De fato, como a maioria dos estudos comprovam, a PIO pode sofrer alterações devido a variações da posição do corpo ou da cabeça, e a magnitude dessas alterações parece variar de acordo com o ângulo de inclinação postural (PRATA, 2010). Durante o projeto foi evitado ao máximo inclinar a cabeça ou mesmo o corpo do animal.

Segundo Betinjane 2009, alterações na hemodinâmica do humor aquoso refletem uma flutuação na PIO, tanto em indivíduos hígidos quanto em indivíduos glaucomatosos. Estas flutuações refletem ao ciclo circadiano, variando entre o dia e a noite, dependendo da espécie. Em casos quando há suspeita de glaucoma ou mesmo interesse em obter uma média diária, é recomendado realizar a curva tensional diária, sendo realizadas 7 mensurações com intervalo de 3 horas, com início às 6 horas e término as 24 horas. Tratando-se de animais silvestres e ao número de indivíduos selecionados neste projeto, 15 tucanos de cada espécie, não houve como realizar uma curva pressórica.

O consumo hídrico é de grande valia para hidratar e ajudar nas funções metabólicas do organismo. No entanto, tem sido demonstrado que beber uma quantidade substancial de água, num período curto de tempo, pode levar a uma elevação significativa da PIO, tanto em indivíduos saudáveis como em pessoas com glaucoma (READ, 2010). Motivo este, das observações realizadas uma semana antes do experimento nos recintos.

Existem dois tipos de métodos para a mensuração da PIO, o primeiro é a manometria, como único método direto de medição deste parâmetro e o segundo a tonometria, usada como um método indireto de medição da PIO (REUTER; MÜLLER; ARNDT; EULE, 2010). Nos dias atuais torna-se proibitivo a forma manométrica (invasiva) de avaliação em Tucanos-toco e Tucanos-de-bico-verde, devido principalmente as espécies e ao consenso bem-estar animal. Portanto, utilizou-se neste projeto a tonometria como método para avaliar a PIO.

É fundamental conhecer os valores basais e o intervalo de referência da PIO dos Tucanos-toco e dos Tucanos-de-bico-verde, pois a tonometria é um dos testes mais importantes e dos menos usados em oftalmologia veterinária aviária. Durante muito tempo, a tonometria foi apresentada como um simples método diagnóstico de glaucoma (hipertensão ocular). No entanto, representa muito mais, sendo também um meio para diagnóstico de uveíte (hipotonia ocular) e para confirmação de diagnósticos diferenciais de todas as outras causas de olho vermelho, tais como ceratite, conjuntivite e esclerite (PIO supostamente não afetada) (MAGGS, 2008). Neste experimento, foi obtido com 95% de confiança que a média populacional dos Tucanos-de-bico-verde tem a pressão intraocular entre 12,05 mmHg e 16,81 mmHg e os Tucanos-toco tem a pressão intraocular entre 13,79 mmHg e 17,61 mmHg, inventariando novos dados para a literatura desta especialidade e apresentando para classe científica dados inéditos de pressão intraocular em Tucanos-de-bico-verde e Tucanos-toco.

Devido a fidedignidade e por ser considerado até os dias atuais o método de tonometria mais fidedigno que existe quando comparado com a PIO por manometria e quando comparados com outros métodos de tonometria, a tonometria de aplanção foi a escolhida e

utilizada neste trabalho, pois o funcionamento do tonômetro de aplanção baseia-se na aplicação de uma força variável a um bi prisma que contata com a córnea, o qual opticamente converte a área circular de contato, delineada por um menisco de fluoresceína, em dois semicírculos (JOHNSON, 2010). É até hoje considerado o tonômetro mais preciso em oftalmologia (STRUBBE; GELATT, 1999) e baseado neste tonômetro de mesa, criou-se a versão portátil e operável a bateria do tonômetro de Mackay-Marg, chamada de Tono-Pen, versão para oftalmologia e Tono-Pen VET, versão para oftalmologia veterinária (MILLER et al., 1991; KNIESTEDT et al., 2008).

Em todo o início das mensurações por período ou após usar em mais de 10 animais consecutivos o tonômetro foi calibrado, pois segundo a literatura é necessário verificar esta calibração pelo menos uma vez por dia antes do início das medições ou, sempre que se obtenham repetidamente medições inesperadas (STRUBBE; GELATT, 1999).

Todos os animais receberam uma gota do colírio Anestésico<sup>®</sup> antes das tonometrias e foram aguardados 3 minutos previamente ao exame. Estes cuidados foram observados pois segundo Strubbe e Gelatt (1999), para a 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. Segundo estes mesmos autores a ponta da sonda do tonômetro é coberta por uma membrana de látex estéril e descartável chamada Ocu-film<sup>®</sup> para evitar transmissão de doenças e proteção do equipamento. Neste projeto, em todos os olhos foram utilizados Ocu-Film<sup>®</sup> individuais.

Após três a cinco medidas independentes serem realizadas com sucesso, o instrumento exibe 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 (Reichert Technologies, comunicação pessoal, Junho 2, 2014). Neste estudo foram aceitos somente mensurações com desvio padrão até 5%, em presença de mensurações com resultados acima deste, o exame era repetido.

Korbel e Braun (1999), obtiveram investigações tonométricas em olhos saudáveis de 247 aves sendo de 46 espécies de 7 ordens. Como resultado das medições obtiveram valores de PIO entre  $10,6 \pm 1,5$  e  $18,7 \pm 1,5$  mmHg, tendo-se concluído que o tonômetro de aplanção Tono-Pen XL<sup>®</sup> permitia obter valores confiáveis 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. O experimento realizado corrobora com os dados já descritos por Korbel e Braun (1999), tornando-se viável o uso do Tono-Pen VET<sup>®</sup> (modelo idêntico ao Tono-Pen XL<sup>®</sup> –

Modelo humano) em Tucanos-toco, cujo o diâmetro da córnea é de aproximadamente 10 mm e dos Tucanos-de-bico-verde com valores de diâmetro corneano em aproximadamente 7 mm.

A facilidade e comodidade do uso deste tonômetro permitiu a sua difusão crescente pela medicina veterinária. Vários estudos foram realizados em diferentes espécies, fornecendo uma série de informações sobre a PIO e ampliando a possibilidade de utilização deste instrumento para além da clínica de animais de companhia (GELATT; MACKAY, 1998) e gatos (MILLER et al., 1991). Este tonômetro foi também já testado, com bons resultados, em coelhos (ABRAMS; VITALE; JAMPEL, 1996), ovinos e bovinos (PASSAGLIA et al., 2004). Medição da PIO num exemplar de Milhafre real (*Milvus milvus*) com o tonômetro Tono-Pen Vet<sup>®</sup>, 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) ratos (MOORE; MILNE; MORRISON, 1993), emas (MARCHAN, 2015) dentre outras espécies, e neste experimento foram obtido dados de PIO dos Tucanos-de-bico-verde cujo intervalo foi de 12,05 mmHg e 16,81 mmHg, e nos Tucanos-toco o intervalo de pressão intraocular foi de 13,79 mmHg e 17,61 mmHg, com o índice de confiabilidade de 95%.

Visto que inúmeras afecções oculares podem gerar a opacidade do eixo óptico, impossibilitando o médico veterinário a realizar um exame oftálmico completo, torna-se necessário o conhecimento das estruturas oftálmicas por meio da ecografia ocular dos Tucanos-toco e Tucanos-de-bico-verde. Segundo Nyland e Mattoon (2013), a ecografia ocular é um instrumento diagnóstico valioso, pois permite a avaliação do interior do olho, que pode estar obscuro à observação direta por causa de qualquer doença que cause opacidade em qualquer uma das estruturas que compõem o eixo óptico visual como a córnea e a lente. Além disso, os tecidos moles retrobulbares podem ser visibilizados.

Em oftalmologia veterinária, frequências altas aproximadas a 10 MHz são necessárias para avaliação do bulbo e da órbita. (GONÇALVES et al., 2009; SHUNG, 2009), sendo que neste experimento foi utilizado um transdutor micro convexo com frequência de 9 MHz.

A maioria dos animais podem ser examinados sem a utilização de sedação, a menos que o animal esteja agitado por causa do seu temperamento ou da dor. Se o paciente estiver anestesiado, o bulbo ocular tende a fazer rotação ventralmente, por este motivo, o anestésico tópico é o fármaco de escolha para fazer analgesia ocular, sendo aplicado na dose de uma a duas gotas sobre a córnea, 2 a 5 minutos antes do exame (KATHY SPAULDING, 2011). Diferente do descrito pelo autor, neste experimento, não foram utilizadas técnicas de sedação,

somente contenção mecânica, associado apenas a uma gota do colírio Anestésico<sup>®</sup> e espera de 3 minutos para realizar o exame. Os exames foram realizados sem nenhuma intercorrência, gerando novos dados para a literatura: é factível realizar a tonometria após uma gota deste colírio e espera de 3 minutos.

Pequenos afastadores podem ser utilizados para manter as pálpebras abertas (NYLAND; MATTOON, 2013), porém não houve a necessidade do uso dos afastadores neste projeto.

Existem duas técnicas básicas de ecografia ocular modo-B. A técnica corneana e a técnica palpebral (NYLAND; MATTOON, 2013), sendo que a técnica utilizada no experimento foi a palpebral, também conhecida como transpalpebral. Na técnica palpebral ou transpalpebral o transdutor é posicionado diretamente na pálpebra e requer o emprego de gel acústico (NYLAND; MATTOON, 2013), que neste experimento também foi utilizado.

A tricotomia da pálpebra melhora a qualidade da imagem ao reduzir a quantidade de ar entre o transdutor e a pele minimizando artefatos da imagem (NYLAND; MATTOON, 2013), porém tanto os Tucanos-toco quanto os Tucanos-de-bico-verde, não têm filoplumas, não havendo a necessidade de tricotomia.

Segundo Nyland e Mattoon 2013, essa técnica permite a avaliação adequada da câmara vítrea, da retina e das estruturas orbitais mais profundas, porém foram visualizados também neste experimento, o segmento anterior e a lente.

No presente trabalho um dos objetivos foi avaliar a viabilidade em realizar o exame ecográfico ocular básico, em aproximadamente 5 minutos, pois em aves o estresse causa liberação de ácido lático consequentemente miopia pós captura e óbito, incluindo óbito por estresse agudo devido a contenção, então optou-se em realizar os dois cortes principais, o sagital e o dorsal, diferentemente do recomendado por Stuhr et al. (1996), que indica realizar os cortes sagital, dorsal e transversal do olho durante cada avaliação (STUHR et al., 1996).

Apesar do transdutor linear fornecer ótima imagem das estruturas do campo proximal (KATHY SPAULDING, 2011), neste experimento foi utilizado o transdutor micro convexo, e com ele foi possível obter imagens do bulbo ocular tanto em segmento anterior, posterior e retrobulbar, demonstrando a possibilidade de utilizar este transdutor no exame de Tucanos-toco e Tucanos-de-bico-verde.

Na avaliação axial ocular, é possível observar duas interfaces levemente ecogênicas e tênues, separadas por um fino espaço anecogênico, demonstrando o segmento anterior, passível de avaliação somente sobre modo de imersão em determinadas situações, como em olhos extremamente pequenos (CARVALHO, 2004), porém no presente trabalho, mesmo



tratando-se de olhos pequenos, tanto dos Tucanos-toco quanto dos Tucanos-de-bico-verde, foi possível identificar o segmento anterior do olho.

A utilização de transdutores de 10MHz não permite visibilizar alterações significativas na córnea, em decorrência da sua delgada espessura, sendo necessários transdutores com frequência superior a 40MHz (KIM et al., 2008). Este fato realmente ocorreu neste trabalho, pois não foram obtidas imagens significativas da córnea para uma avaliação correta, sendo necessários estudos futuros desta estrutura com a biomicroscopia ultrassônica.

A lente é observada como uma estrutura moderadamente cilíndrica, de conteúdo interno anecogênico, com as faces anterior e posterior de sua cápsula ecogênicas, disposta no terço proximal do bulbo do olho. (NYLAND; MATTOON, 1995), sendo que esses achados ocorrem nos Tucanos-toco e nos Tucanos-de-bico-verde conforme descrito anteriormente pela literatura.

O espaço vítreo é o maior compartimento ocular e pode ser evidenciado na ultrassonografia, a partir da cápsula posterior da lente até a parede posterior do bulbo ocular, com aspecto anecogênico homogêneo (HIJAR, 2008), a parede posterior não permite a individualização entre o complexo retina-coroide-esclera (GUTHOFF, 1993), já na ultrassonografia do espaço orbitário é observada como uma cavidade heterogênea em decorrência dos diferentes tecidos e estruturas presentes em seu interior (EISEMBERG, 1985). Neste experimento todas as afirmações acima foram identificadas da mesma forma nos Tucanos-toco e nos Tucanos-de-bico-verde, exceto por uma estrutura ecogênica cônica, denominada de pécten, que se projeta da retina para o corpo vítreo. O espaço orbital nasal e temporal não foram visibilizados, devido as estruturas ósseas do bulbo ocular.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos conclui-se que:

- ✓ É possível mensurar a PIO por meio da tonometria de aplanção com o tonômetro Tono-pen<sup>®</sup> VET Reicher<sup>®</sup> e prévia aplicação de uma gota do colírio Anestésico<sup>®</sup> e espera de 3 minutos em Tucanos-toco e Tucanos-de-bico-verde.
- ✓ Com 95% de confiança estatística a média populacional dos Tucanos-de-bico-verde tem a pressão intraocular entre 12,05 mmHg e 16,81 mmHg e os Tucanos-toco tem a pressão intraocular entre 13,79 mmHg e 17,61 mmHg.
- ✓ A ecografia ocular em modo B pela via transpalpebral é viável, pois é possível identificar o segmento anterior, a lente, a câmara vítrea, o pecten, o posicionamento da retina e o espaço retrobulbar em Tucanos-toco e Tucanos-de-bico-verde nos cortes sagital e dorsal.
- ✓ A ecobiometria ocular básica pode ser realizada no plano dorsal, pois todas as mensurações foram realizadas com sucesso neste corte, permitindo avaliar os eixos axial bulbar, eixo axial do segmento anterior, eixo axial do segmento posterior, eixo transversal do segmento posterior, eixo axial da lente e eixo transversal da lente dos Tucanos-toco e Tucanos-de-bico-verde.
- ✓ É factível incluir a ecografia ocular básica por meio dos cortes sagital e dorsal nos exames oftálmicos dos Tucanos-toco e dos Tucanos-de-bico-verde, pois sua realização pode ser executada em média de 4 minutos e 27 segundo nos Tucanos-toco e uma média de 5 minutos e 3 segundos nos Tucanos-de-bico-verde.
- ✓ O exame ecográfico ocular pela via transpalpebral não ocasiona os artefatos de imagem que interferem na visibilização das estruturas como a cauda de cometa, reverberação e sombra acústica nos Tucanos-toco e nos Tucanos-de-bico-verde, tornando-se uma técnica recomendada para estas espécies.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMS, L. S.; VITALE, S.; JAMPEL. Comparison of three tonometers for measuring intraocular pressure in rabbits. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 37, n. 5, p. 940-944, 1996.
- ALGUIRE, P. C. Tonometry. In: WALKER, H. K.; HALL, W. D.; HUSRT, J. W. (Eds.), **Clinical methods: the history, physical, and laboratory examinations**. 3. ed., Boston: Butterworths. p. 581-584, 1990.
- ALTUNAY, H.; KOZLU, T. The fine structure of the Harderian gland in the ostrich (*Struthio camelus*). **Anatomia, Histologia, Embryologia**, v. 33, p. 141-145. 2004.
- AMIGO, G. The Maklakoff applanation tonometer [abstract]. **The Australian Journal of Optometry**, v. 50, n. 4, p. 92-96, 1967.
- ANDERSON, D. R.; GRANT, W. M. Re-evaluation of the Schiøtz tonometer calibration. **Investigative Ophthalmology**, v. 9, n. 6, p. 430-446, 1970.
- BAUMEL, J. J.; WITMER, L. M. Osteologia. In J.J. Baumel (Ed.), Handbook of avian anatomy: nomina anatomica avium (2nd Ed.) Cambridge, Massachusetts: **The Nuttall Ornithological Club**, n. 23. p. 45-132, 1993.
- BAYÓN, A.; ALMELA, R. M.; TALAVERA, J. Avian ophthalmology. **European Journal of Companion Animal Practice**, v. 17, n. 3, p. 253-266, 2007.
- BETINJANE, A. J. Tonometria, tonografia e testes de sobregarga. In: YAMANE, R. **Semiologia ocular**. 3 ed. Rio de Janeiro. Cultura médica, 2009 Cap. 12. Pag, 183-191.
- BESERRA, P. S.; SALES, G. A.; SANTANA, E. J. M.; MIRANDA, S. A.; BRITO, A. B.; NICKOLAK, E.; DOMINGUES, S. F. S. Relação entre biometria ultrassonográfica em modo B do bulbo ocular e os diâmetros fronto occipital e bizigomático em *Canis familiaris*. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 286-290, 2009.
- BILL, A. The role of ciliary blood flow and ultrafiltration in aqueous humor formation. **Experimental Eye Research**, v. 16, n. 4, p. 287-298, 1973.
- BOOTHE, W. A.; LEE, D. A.; PANEK, W. C.; PETTIT, T. H. The Tono-Pen, a manometric and clinical study. **Archives of Ophthalmology**, v. 106, p. 1214-1217, 1988.

BRACH, V. The functional significance of the avian pecten: a review. **The Condor**, v. 79, p. 321-327, 1977.

BRAEKEVELT, C. R. Fine structure of the pecten oculi in the great horned owl (*Bubo virginianus*), **Histology and Histopathology**, v. 8, p. 9-15, 1993.

\_\_\_\_\_. Fine structure of the pecten oculi in the american crow (*Corvus brachyrhynchos*). **Anatomia, Histologia, Embryologia**, v. 23, n. 4, p. 357-366, 1994.

BREAZILE, J. E.; KUENZEL, W. J. Systema nervosum central. In J.J. Baumel (Ed.), **Handbook of avian anatomy: nomina anatomica avium** (2nd Ed.) Cambridge, Massachusetts: **The Nuttall Ornithological Club**, v. 23, p. 493-554, 1993.

BROOKS, D. E. Avian cataracts. **Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine**, v. 6, n. 3, p. 131-137, 1997.

CARVALHO, C. F. Bases físicas da formação da imagem ultra-sonográfica. In: **Ultrasonografia em pequenos animais**. São Paulo: Roca. p. 1-7, 2004.

COHAN, B. E.; BOHR, D. F. Goldmann applanation tonometry in the conscious rat. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 42, n. 2, p. 340-342, 2001.

CORRÊA, L. F. D.; FERANTINI, J. P. S.; SANTALUCIA, S.; CHAVES, R. O.; COPAT, B.; HARTMANN, H. F.; LIBARDONI, R. N.; OLIVEIRA, M. O.; CASTRO, J. L.; PIPPI, N. L.; BRUN, M. V. Fisiologia e fatores que interferem na pressão intraocular. **Revista Medvop**, v. 12, n. 41. p. 332-339, jul./set. 2014.

COSTER, M. E.; STILES, J.; KROHNE, S. G.; RASKIN, R. E. Results of diagnostic ophthalmic testing in healthy guinea pigs. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 232, n. 12, p. 1825-1833, 2008.

CUBAS, Z. S. et al. **Tratado de animais selvagens: Medicina Veterinária**; 2. ed., São Paulo: Roca, v. 1, 2014.

CUNNINGHAM, A. J.; BARRY, P. Intraocular pressure – physiology and implications for anaesthetic management. **Canadian Anaesthetists' Society Journal**, v. 33, n. 2, p. 195-208, 1986.

DABASIA, P. Contact applanation tonometry. **Optician**, v. 231, n. 6042, p. 32-39, 2006.

DE STEFANO, M. E.; MUGNAINI, E. Fine structure of the choroidal coat of the avian eye: lymphatic vessels. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 38, n. 6, p. 1241-1260, 1997.

DRAEGER, J. Principle and clinical application of a portable applanation tonometer. **Investigative Ophthalmology**, v. 6, n. 2, p. 132-134, 1967.

EISEMBERD, H. M. Ultrasonography of the eye and orbit. **Veterinary Clinics of North America: small Animal Practice**, v. 15, n. 6, p. 1263-1274, 1985.

EVANS, H. E.; MARTIN, G. R. Organa sensuum. In: BAUMEL, J. J. (Ed.), Handbook of avian anatomy: nomina anatomica avium (2 nd Ed.) Cambridge, Massachusetts: **The Nuttall Ornithological Club**, v. 23, p. 585-611, 1993.

FERREIRA JÚNIOR, F. C. **Avaliação Sanitária de Tucanos e Araçaris (Aves: Piciformes) em Cativoiro no Estado de Minas Gerais**. 2012; 80f; Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Belo Horizonte, Escola Veterinária da UFMG; 2012.

FOX, R.; LEHMKUHLE, S. W.; WESTENDORF, D. H. Falcon visual acuity. **Science**, v. 192, n. 4236, p. 263-265, 1976.

GARAMSZEGI, L. Z.; MØLLER, A. P.; ERRITZØE, J. Coevolving avian eye size and brain size in relation to prey capture and nocturnality. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 269, p. 961-967, 2002.

GELATT, K. N.; GUM, G. G. Evaluation of electronic tonometers in the rabbit eye. **American Journal of Veterinary Research**, v. 42, n. 10, p. 1778-1781, 1981.

GELATT, K. N.; MACKAY, E. O. Distribution of intraocular pressure in dogs. **Veterinary Ophthalmology**, 1998; 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**, v. 16, n. 10, p. 963-968, 1977.

GLASSER, A.; HOWLAND, H. C. A history of studies of visual accommodation in birds. **The Quarterly Review of Biology**, v. 71, n. 4, p. 475-509. 1996.

GOEL, M.; PICCIANI, R. G.; LEE, R. K.; BHATTACHARYA, S. K. Aqueous humor dynamics: a review. **The Open Ophthalmology Journal**, v. 4, p. 52-59, 2010.

GOMES, M. V. F. et al. **Descrição da Cinética do Bico do Tucano-toco (Ramphastos Toco)**; Ciência, Cultura e Cidadania 19º Congresso de Iniciação Científica da UnB 10º Congresso de Iniciação Científica do DF SUMÁRIO Livro de Resumos, sumário por nome dos bolsistas em ordem alfabética em 3 volumes. v. 1 - A-F, v. 2 - G-M, v. 3 - N-Y Universidade de Brasília – UnB – 2013.

GONÇALVES, G. F.; LEME, M. C.; ROMAGNOLI, P.; EURIDES, D.; PIPPI, N. L. Biometria ultra-sonográfica bidimensional em tempo real de bulbo ocular de gatos domésticos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, n. 3, p. 829-834, 2009.

GÖRIG, C.; COENEN, R. T.; STADES, F. C.; DJAJADININGRAT-LAANEN, S. C.; BOEVÉ, M. H. Comparison of the use of new handheld tonometers and established applanation tonometers in dogs. **American Journal of Veterinary Research**, v. 67, n. 1, p. 134-144, 2006.

GÖRIG, C.; SCHOEMAKER, N. J.; STADES, F. C.; BOEVÉ, M. H. Evaluation of different tonometers in exotic animals. **Veterinary Ophthalmology**, v. 8, n. 6, p. 427-436, 2005.

GUM, G.; GELATT, K. N. (Ed.); OFRI, R. Physiology of the eye. In K.N. Gelatt (Ed.), **Veterinary ophthalmology** (3. ed.) Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins. p. 151-182, 1999.

GÜNTÜRKÜN, O. Sensory physiology: vision. In G.C. Whittow (Ed.), **Sturkie's avian physiology** (5th Ed.) London, England: Academic Press. p. 1-20, 2000.

GUTHOFF, R. História do diagnóstico por ultra-som. In: **Ultra-sonografia em Oftalmologia**. Rio de Janeiro: Revinter, 1993, p. 1-26.

HALTER, D. A.; DZIEZYC, J.; MILLICHAMP, N. J. Two- dimensional realtime ocular ultrasonography in the dog. **Veterinary Radiology**. v. 28, p. 60-65, 1987.

HESSEMER, V.; RÖSSLER, R.; JACOBI, K. W. Tono-Pen, a new tonometer [abstract]. **International Ophthalmology**, v. 13, p. 51-56, 1989.

HIJAR, M. V. Ultra-sonografia ocular. In: Herrera, D. **Oftalmologia Clínica em Animais de Companhia**. São Paulo: **Med Vet.**, p. 49-62, 2008.

HODOS, W. The visual capabilities of birds. In: H.P. ZEIGLER; H. BISCHOF (Eds.), **Vision, brain and behavior in birds**. London, England: The MIT Press. p. 63-76, 1993.

HUGHES, J. T.; JERROME, D.; KREBS, H. A. 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. **Experimental Eye Research**, v. 14, n. 3, p. 189-190, 1972.

JAMES, B.; BENJAMIN, L. (Eds.) **Ophthalmology investigation and examination techniques**. Philadelphia: Butterworth Heinemann, Elsevier. 2007.

JOHNSON, M. E. Contact tonometry. **Optician**, module C13120, p. 20-32, 2010.

JOHNSTON, G. R, Feeney DA: Radiology in ophthalmic diagnosis. **Veterinary Clinics off North America: Small Animal Practice**. v. 10, p. 317-337, 1980.

JONES, M. P.; PIERCE, K. E.; WARD, D. Avian vision: a review of form and function with special consideration to birds of prey. **Journal of Exotic Pet Medicine**, v. 16, n. 2, p. 69-87. 2007.

JONES, M. P.; Pierce, K. E.; WARD, D. Avian vision: a review of form and function with special consideration to birds of prey. **Journal of Exotic Pet Medicine**, v. 16, n. 2, p. 69-87, 2007.

KATZIR, G.; HOWLAND, H. C. Corneal power and underwater accommodation in great cormorants (*Phalacrocorax carbo sinensis*). **The Journal of Experimental Biology**, v. 206, p. 833-841, 2003.

KIAMA, S. G.; MAINA, J. N.; BHATTACHARJEE, J.; MWANGI, D. K.; MACHARIA, R. G.; WEYRAUCH, K. D. The morphology of the pecten oculi of the ostrich, *Struthio camelus*. **Annals of Anatomy**, v. 188, p. 519-528, 2006.

KIM, H. H.; CANNATA, J. M.; LIU, R.; CHANG, J. H.; SILVERMAN, R. H.; SHUNG, K. K. **20MHz/40MHz dual element transducers for high frequency harmonic imaging**. v. 55, n. 12, p. 2683-2691, 2008.

KNIESTEDT, C.; PUNJABI, O.; LIN, S.; STAMPER, R. L. Tonometry through the ages. **Survey of Ophthalmology**, v. 53, n. 6, p. 568-591, 2008.

LEITE, G. A. et al. Predação do Sabiá-laranjeira *Turdus rufiventris* (Passeriformes:Turdidae) por Tucano-de-bico-verde *Ramphastos dicolorus* (Piciformes:Ramphastidae) no município de Campos do Jordão, SP/Brasil; **Atualidades Ornitológicas On-line** n. 158, nov./dez. 2010.

LOERZEL, S. M.; SMITH, P. J.; HOWE, A.; SAMUELSON, D. A. Vecuronium bromide, phenylephrine and atropine combinations as mydriatics in juvenile double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*). **Veterinary Ophthalmology**, v. 5, n. 3, p. 149-154, 2002.

MA, K. T.; CHUNH, W. S.; SEO, K. Y.; SEONG, G. J.; KIM, C. Y. The effect of swimming goggles on intraocular pressure and blood flow within the optic nerve head. **Yonsei Med Journal**. v. 48, n. 5, p. 807-809, oct. 2007.

MAGGS, D. J. (Ed.) Basic Diagnostic Techniques. In: MAGGS, D. J.; MILLER, P. E.; OFRI, R.; SLATTER, D. H. (Eds.), **Slatter's fundamentals of veterinary ophthalmology**. (4. ed.) St. Louis, Missouri: Saunders Elsevier. v. 4, p. 81-106, 2008.

MAGRANE, W. G: **Canine Ophthalmology**, 5th ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1977.

MANENT, J. C.; ARRANZ, M. A.; ARENAS, J. L. Consideraciones sobre los principios físicos de la tonometría de aplanación. **Gaceta Óptica**, v. 442, p. 30-34, 2009;

MARCHAN, P. R. A. C.; OLIVEIRA, M. F. **Pressão intraocular em EMA (Rhea Americana)**. XXX Jornada Acadêmica Integrada - JAI Universidade Federal de Santa Maria, out. 2015.

MARTIN, C. L.; ANDERSON, B. G. Ocular anatomy. In: GELATT, K. N. (Ed): **Veterinary Ophthalmology**. Philadelphia: Lea & Febiger, 1981, p. 12-121.

McFADDEN, S. A. The avian eye view. In: ZEIGLER, H. P.; BISCHOF, H. (Eds.), Vision, brain and behavior in birds. London, England: **The MIT Press**. p. 1-3, 1993.

MILLER, P. E. (Ed.) 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** (4. ed.) St. Louis, Missouri: Saunders Elsevier. p. 1-19, 2008.

MILLER, P. E.; PICKETT, J. P.; MAJORS, L. J. Evaluation of two applanation tonometers in horses [abstract]. **American Journal of Veterinary Research**, v. 51, n. 6, p. 935-937, 1990.

MILLER, P. E.; PICKETT, J. P.; MAJORS, L. J.; KURZMAN, I. D. Evaluation of two applanation tonometers in cats. **American Journal of Veterinary Research**, v. 52, n. 11, p. 1917-1921, 1991.

MONTIANI-FERREIRA, F.; CARDOSO, F.; PETERSEN-JONES, S. Postnatal development of central corneal thickness in chicks of *Gallus gallus domesticus*. **Veterinary Ophthalmology**, v. 7, n. 1, p. 37-39. 2004.



- MONTIANI-FERREIRA, F.; MATTOS, B. C.; RUSS, H. H. **Reference values for selected ophthalmic diagnostic Ophthalmology**, v. 9, n. 4, p. 209-213, 2006.
- MONTIANI-FERREIRA, F.; PETERSEN-JONES, S.; Cassotis, N.; RAMSEY, D. T.; GEARHART, P.; CARDOSO, F. Early postnatal development of central corneal thickness in dogs. **Veterinary Ophthalmology**, v. 6, n. 1, p. 19-22, 2003.
- MONTIANI-FERREIRA, F.; MOODIE, K. L.; HASHIZUME, N.; HOUSTON, D. L.; HOOPES, P. J.; DEMIDENKO, E.; TREMBLY, B. S.; DAVIDSON, M. G. Postnatal development of corneal curvature and thickness in the cat. **Veterinary Ophthalmology**, v. 4, n. 4, p. 267-272, 2001.
- MOORE, C. G.; MILNE, S. T.; MORRISON, J. C. Noninvasive measurement of rat intraocular pressure with the Tono-Pen. **Investigative Ophthalmology**, v. 34, n. 2, p. 363-369, 1993.
- MORRISON, J. C. (Ed.), FREDDO, T. F.; TORIS, C. B. Anatomy and physiology of aqueous humor formation. In: MORRISON, J. C.; POLLACK, I. P. (Eds.), **Glaucoma: science and practice**. New York: Thieme. p. 24-33, 2003.
- MOSES, R. A.; MARG, E.; OECHSLI, R. Evaluation of the basic validity and clinical usefulness of the Mackay-Marg tonometer. **Investigative Ophthalmology**, v. 1, n. 1, p. 78-85, 1962.
- MUNDT, G. H.; HUGHES, W. E. Ultrasonics in ocular diagnosis. **American Journal Ophthalmology**. v. 41, n. 3, p. 488-498, 1956.
- MURPHY, C. J. Raptor ophthalmology. **Compendium Small Animal**, v. 9, n. 3, p. 241-260. 1987.
- NYLAND, T. G.; MATTOON, J. S. **Diagnóstico por Imagem em Pequenos Animais**. 2. ed. Ed. Roca, 2013.
- O'Malley, B. (Ed.) Clinical anatomy and physiology of exotic species. UK: **Elsevier Saunders**. 2005.
- OFRI, R. Intraocular pressure and glaucoma. **The Veterinary Clinics Exotic Animal Practice**, v. 5, p. 391-406, 2002.
- OFRI, R.; HOROWITZ, H.; KASS, P. H. Tonometry in three herbivorous wildlife species. **Veterinary Ophthalmology**, v. 1, n. 1, p. 21-24, 1998.

OROSZ, S. E. Principles of avian clinical neuroanatomy. **Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine**, v. 5, n. 3, p. 127-139, 1996.

OROSZ, S. E. The special senses of birds. In B.H. Coles (Ed.), **Essentials of avian medicine and surgery** (3rd Ed.) Oxford, UK: Blackwell Publishing. p. 22-39, 2007.

PARDUE, M. T. Functional anatomy of the ciliary muscle in birds and humans. Ph.D. Thesis. Waterloo, Ontario, Canada: **Vision Science and Biology**, University of Waterloo. 1996.

PASSAGLIA, C. L.; GUO, X.; CHEN, J.; TROY, J. B. Tono-Pen XL calibration curves for cats, cows and sheep. **Veterinary Ophthalmology**, v. 7, n. 4, p. 261-264, 2004.

PAULI, A.; KLAUSS, G.; DIEHL, K.; REDIG, P. Clinical techniques: considerations for release of raptors with ocular disease. **Journal of Exotic Pet Medicine**, v. 16, n. 2, p. 101-103, 2007.

PERKINS, E. S. Hand-held applanation tonometer. **British Journal of Ophthalmology**, v. 49, p. 591-593, 1965.

PILLUNAT, L. E.; KOHLHAAS, M.; BÖHM, A. G.; SPOERL, E. Effect of corneal thickness on applanation tonometry, pneumotonometry, and Tonopen measurements. In: GREHN, F.; STAMPER, R. (Eds.), **Essentials in Ophthalmology: Glaucoma** Leipzig, Germany: Springer. p. 64-72, 2006.

PIÑEIRO, C. J.; BERT, E. Valoración de las afectaciones al sistema visual de las aves. **REDVET**, v. 12, n. 1, p. 1-41, 2011.

POLLOCK, R. V. H. The eye. In: EVANS, H. E.; CHRISTENSEN, G. C. (Eds). **Miller's Anatomy of the Dog**, 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders, p. 1073-1127, 1979.

PRATA, T. S.; De MORAES, C. G.; KANADANI, F. N.; RITCH, R.; PARANHOS, A. Jr., Posture- induced intraocular pressure changes: considerations regarding body position in glaucoma patients. **Survey of Ophthalmology**. v. 55, n. 5, p. 41-46. sep. 2010.

PRIEHS, D. R.; GUM, G. G.; WHITLEY, R. D.; MOORE, L. E. Evaluation of three applanation tonometers in dogs. **American Journal of Veterinary Research**, v. 51, n. 10, p. 1547-1550, 1990.

READ, S. A.; COLLINS, M. J. Water drinking influences eye length and IOP in young healthy subjects. **Experimental Eye Research**. v. 91, n. 2, p. 180-185, aug. 2010.

REICHERT OPHTHALMIC INSTRUMENTS (n.d.). *Tono-Pen Vet™ Tonometer user's guide*. Disponível em: [http://media.wix.com/ugd/47e684\\_a4d038e50ff24c458a605ed9dfaeb48e.pdf](http://media.wix.com/ugd/47e684_a4d038e50ff24c458a605ed9dfaeb48e.pdf). Acessado em 02, de junho de 2014.

RENWICK, P. Glaucoma. In: PETERSEN-JONES, S.; CRISPIN, S. (Eds.), **BSAVA manual of small animal ophthalmology** (2 Small Animal Veterinary Association. nd Ed.) Gloucester, England: British. p. 185-203. 2002.

REUTER, A.; MÜLLER, K.; ARNDT, G.; EULE, J. C. Accuracy and reproducibility of the Tonovet rebound tonometer in birds of prey. **Veterinary Ophthalmology**, v. 13, n. 1, p. 80-85, 2010.

RIBEIRO, C. F. N. O. **Fatores que afetam a pressão intraocular**. Portugal; 2011. Dissertação de mestrado em Optometria avançada. Disponível em: <HTTP://hdl.handle.net/1822/18493>. Acesso em: Julho de 2015.

ROBERT, Y. C. What do we measure with various techniques when assessing IOP? **Survey of Ophthalmology**, v. 52, n. 2, p. 105-107, 2007.

RODRIGUES JUNIOR, E. F. **Ultra-sonografia pré-cirúrgica da lente do segmento posterior de cães portadores de catarata**. 2008. 53f. Dissertação Mestrado em Medicina Veterinária (Cirurgia Veterinária). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias- UNESP, Jaboticabal.

RUBIN, L.F.; KOCH, S. A. Ocular diagnostic ultrasonography. **Journal of the American Veterinary Medical Association**. v. 153, n. 12, p. 1706-1716, 1968.

SHUNG, K. K. High frequency ultrasonic imaging. **Journal Medicine Ultrasound**, v. 17, n. 4, p. 25-30, 2009.

SIVAK, J. G. Through the lens clearly: phylogeny and development. **Investigative Ophthalmology and Visual Science**, v. 45, n. 3, p. 740-747, 2004.

SPAULDING, K. Atlas de **Ultrassonografia de Pequenos Animais** – Dominique Penninck, Marc-André d'Anjou. Editora Guanabara Koogan, 1. ed., 2011, p. 513.

STRUBBE, D. T.; GELATT, K. N. (Ed.) Ophthalmic examination and diagnostic procedures. In K.N. Gelatt (Ed.), **Veterinary ophthalmology** (3. Ed.) Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins. p. 427-466, 1999.

STUCKEY, G. C. Application of physical principles in the development of tonometry. **Clinical and Experimental Ophthalmology**, v. 32, p. 633-636, 2004.

STUHR, C. M.; SCAGLIOTTI, R. H. Retrobulbar ultrasound in the mesaticephalic and dolichocephalic dog using a temporal approach. **Veterinary Compendium Ophthalmology**. v. 6, p. 91-99, 1996.

TAMURA, S. D. **Os efeitos do treinamento de força na pressão intraocular**. Brasil; 2013 Sorocaba (BR). Artigo de revisão. Disponível em: [HTTP://www.fefiso.edu.br/grupo-estudo-musculacao/orientacoes\\_pdf/16.pdf](http://www.fefiso.edu.br/grupo-estudo-musculacao/orientacoes_pdf/16.pdf). Acesso em: Janeiro 2015.

TENG, C.; GURSES-OZDEN, R.; LIEBMANN, J. M.; TELLO, C.; RITCH, R. Effect of a tight nechtie on intraocular pressure. **British Journal of Ophthalmology**. v. 87, n. 8, p. 947-948, aug. 2003.

VIEIRA, G. M.; OLIVEIRA, H. B.; ANDRADE, D. T.; BOTTARO, M.; RUTCH, R. Intraocular pressure variation during weight lifting. **Archives of ophthalmology**. v. 124, n. 9, p. 1251-1254, sep. 2006.

WALLS, G. L. The vertebrate eye and its adaptive radiation. Bloomfield Hills, Michigan: **Cranbrook Institute of Science**. 1942.

WELNRED, R. N.; BRANDT, J. D.; GARWAY-HEATH, D.; MEDEIROS, F. (Eds.) **Intraocular pressure**. Amsterdam, The Netherlands: Kugler Publications. 2007.

WILLIAMS, D. Ophthalmology. In: RITCHIE, B. W.; HARRISON, G. J.; HARRISON, R. L. (Eds.), **Avian medicine: principles and application**. Lake Worth, Florida: Wingers Publishing. p. 673-694, 1994.

WYGNANSKI-JAFFE, T.; MURPHY, C. J.; SMITH, C.; KUBAI, M.; CHRISTOPHERSON, P.; ETHIER, C. R.; LEVIN, A. V. Proctective ocular mechanisms in woodpeckers. **Eye**, v. 21, p. 83-89, 2007.

ZEIGLER, H. P.; BISCHOF, H. (Eds.) Vision. **Brain and behavior in birds**. London, England: The MIT Press. 1993.