UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCÊNCIA ANIMAL

ANDRÉ NICOLAI ELIAS DA SILVA

**Determinação das concentrações anestésicas mínimas do isoflurano e
sevoflurano em pinguins-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) e
avaliação dessas anestésias sob diferentes frações inspiradas de
oxigênio**

PIRASSUNUNGA
2017

ANDRÉ NICOLAI ELIAS DA SILVA

Determinação das concentrações anestésicas mínimas do isofluorano e sevofluorano em pinguins-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) e avaliação dessas anestésias sob diferentes frações inspiradas de oxigênio

“Versão corrigida”

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Biociência Animal

Orientador: Prof. Dr. Adriano Bonfim Carregaro

PIRASSUNUNGA

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

NS586c Nicolai Elias da Silva, André
Concentrações anestésicas mínimas dos halogenados
em pinguins-de-Magalhães e essas anestésias sob
diferentes frações inspiradas de O₂ / André Nicolai
Elias da Silva ; orientador Adriano Bonfim
Carregaro. -- Pirassununga, 2017.
81 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Biociência Animal) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Anestesia inalatória. 2. Animais selvagens .
3. Aves. 4. Spheniscus magellanicus. 5.
Halogenados. I. Bonfim Carregaro, Adriano, orient.
II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os animais, fontes de minha inspiração, meu trabalho,
meus amigos, seres especiais e que fazem nossas vidas melhores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha hierarquia espiritual por me guiar pelos caminhos por mim escolhidos.

A minha grande, querida e amada família por estar sempre ao meu lado, me apoiando de forma incondicional, em especial a minha mãe, por acreditar em mim e sempre me apoiar, confortando, brigando, alertando, amando. Obrigado mãe, esse título de doutorado é seu também.

Aos meus queridos irmãos Simone e Daniel, meus melhores amigos, companheiros e incentivadores.

Aos meus avós que me acompanham desde o começo nessa caminhada. Obrigado por todo apoio, cada minuto ao lado de vocês foi fundamental, boas conversas, carinho, novelas e histórias fizeram esse caminho muito mais leve. Hoje somos doutores!!!

Ao meu pai por me apoiar e proporcionar meios de atingir minhas metas. Te amo pai!

Aos meus queridos amigos feitos no Zoológico de São Paulo, Luizinho, Cris, Karina, Denise, Haroldo, Caio, Henrique, Cybele, Cauê, Mara, Fernanda, Oriel, Daniel, Ana Maria, Amanda, Edvaldo, Rogério, Araquém, Mário Eduardo, Maria José, Ana Luiza, Juliana, Dr. João, Mario Borges, Carolina Chagas, Iris, Paulinha, Patrícia, Dirson, Laurindo, Lori e outros que eu possa ter esquecido, vocês foram fundamentais na minha evolução pessoal e profissional, muito obrigado!

A Sandra Helena uma das minhas orientadoras, madrinha, companheira e amiga. Muito obrigado por ter estado ao meu lado no início dessa caminhada selvagem, te amo madrinha.

A Maria Carolina por toda a ajuda no início desta caminhada “doutorado”, montando casa, apoiando e acreditando que tudo daria certo, obrigado de coração!

Ao Gustavo Henrique Pereira Dutra, o “Dutrão” meu amigo irmão que tanto amo, por estar sempre ao meu lado me apoiando e me ajudando. É uma honra e um prazer ter você ao meu lado nessa caminhada, obrigado meu amigo!!!

Ao Aquário Municipal de Santos que permitiu a realização do meu trabalho e acreditou que as coisas dariam certo, muito obrigado!

Ao Professor Adriano Bonfim Carregaro pela amizade, companheirismo, ensinamentos e orientação de sempre, só tenho a agradecer pela sua colaboração no meu crescimento profissional e pessoal. Cada momento vivido foi importante e fez de mim

uma pessoa melhor. Confesso por vezes não ter entendido no momento algumas situações, mas ao avaliar a caminhada, as dificuldades e vitórias, posso te dizer que hoje consigo compreender cada puxão de orelha e cada elogio feito ou não. Já lhe disse isso pessoalmente, mas gostaria de dizer mais uma vez que tenho grande admiração e respeito por você. Muito obrigado mais uma vez por ter cruzado meu caminho, espero poder encontra-lo ainda por muitas vezes.

Aos meus amigos navegantes, queridos integrantes do NAVE, Giuliano, Cristiano, Marina, Thay, Bolha, Raíssa, Bruno, Ogro, Pão..... meu muito obrigado, vocês estão entre as melhores pessoas que já trabalhei, tenho certeza que o caminho de cada um de vocês será de muito sucesso.

Aos meus queridos amigos Will e Sha por toda parceria, amizade, conversas, cervejas, bagunças, pubs, churrascos com linguças vegetarianas que o Will não sabe fazer, kkkkkk.... as muitas anestésias do quarteto fantástico, rs.... ao bolo de maconha dividido em Praga, kkkkkkk... as nossas presepas. Muito obrigado por isso e por tudo que ainda está por vir, amo vocês!!!

Aos amigos Paulinho, Renanzinnn, Nei, vocês foram fundamentais, essa caminhada não seria a mesma se não tivessem aí, amo vocês!!! Paulinho obrigado pelos ensinamentos (mexer no Word, kkkkkkkkkkkk), conselhos, cachaças e conversas. Renanzinnnnn meu querido, muito obrigado por cada história contada e pelos ensinamentos trocados. Nei meu querido, muito obrigado pela amizade sincera, pelos conhecimentos trocados, por cada churrasco lá em casa e por ter feito dessa caminhada algo tão prazeroso.

A minha querida namorada, amiga, companheira, conselheira Thaís, meu amor muito obrigado por estar ao meu lado me apoiando e me ajudando sempre, você é parte integrante dessa conquista, te amo!!! Você foi um presente que Pirassununga trouxe.

Aos amigos Jeffinho e Nati pela convivência, aprendizado, cervejas, lanches, reclamações e tudo mais. Com certeza esse final de caminhada não seria o mesmo sem vocês. Muito obrigado, adoro vocês e venham para o encontro aqui na minha casa tá, rs!!!

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro, fundamental para execução desse projeto.

Aos meus anjos queridos Xana, Willy, Princesa, Nero, Thor, Jade, Romeu e Julieta, filhos animais que passaram pela minha vida me ensinando e a tornando muito mais doce.

As minhas queridas filhas, companheiras de sempre Susi e Bela e aos meus anjos Gertrudes, Zildo, TJ, Zico, Geni e lógico as baratas, rs!!! Amo cada um de vocês.

A todos que de forma direta ou indireta colaboraram para execução desse trabalho.

E a mim por acreditar, lutar e persistir em meus ideais.

RESUMO

SILVA, A.N.E. **Determinação das concentrações anestésicas mínimas do isofluorano e sevofluorano em pinguins-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) e avaliação dessas anestésias sob diferentes frações inspiradas de oxigênio.** 2017 Tese (Doutorado direto) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP.

O pinguim-de-Magalhães é a espécie de pinguim mais presente em águas jurisdicionais brasileiras e frequente na clínica de animais marinhos, vítimas de desorientação, da poluição, da pesca e outras ações antrópicas. Com o estudo objetivou-se estabelecer as concentrações anestésicas mínimas (CAM) do isofluorano e sevofluorano em pinguins-de-Magalhães e posteriormente avaliá-las sob a influência de diferentes frações inspiradas de O₂ (FiO₂). Foram utilizados 20 animais adultos, saudáveis e sem distinção quanto ao sexo. Durante a primeira etapa, focou-se no estabelecimento da CAM para ambos os anestésicos. Os animais foram inicialmente submetidos à contenção física e sequencialmente induzidos a anestesia com auxílio de máscara facial, seguindo-se a intubação traqueal, após adequada indução e posterior manutenção sob ventilação controlada, para ambos os halogenados. A determinação da CAM foi realizada de acordo com o delineamento “*up-and-down*”. Desta forma, cada animal foi exposto uma única vez a uma concentração anestésica pré-determinada, por um período de 15 minutos, seguido da aplicação de um estímulo elétrico. De acordo com a resposta obtida, o próximo animal foi submetido a uma fração aumentada em 0,1 (resposta positiva) ou reduzida em 0,1 (resposta negativa). Para realização da segunda etapa, 12 animais foram distribuídos entre os grupos isofluorano e sevofluorano, com seis indivíduos em cada um. Todos os animais foram anestesiados e mantidos com 1 CAM de cada halogenado, obtido na primeira etapa, sendo ambos os agentes anestésicos diluídos em frações de 1,0, 0,6, 0,4 e 0,2 de O₂. As aves foram mantidas sob anestesia por 80 minutos, sendo que a cada 20 minutos era alterada a fração de O₂, por sorteio, seguindo-se um modelo de quadrado latino. Foram monitorados durante a anestesia FC, F_R, PAS, PAM, PAD, temperatura, pH, HCO₃⁻, PaO₂ e PaCO₂ e eletrólitos (Na⁺ e K⁺). Os valores de CAM para isofluorano e sevofluorano foram de 1,91 V% e 3,53 V% respectivamente. Diante dos resultados obtidos conclui-se que as FiO₂ de 1,0, 0,6 e 0,4 mostram-se seguras para pinguins-de-Magalhães anestesiados com 1 CAM de isofluorano ou sevofluorano mantidos sob ventilação controlada.

Palavras-chave: Anestesia inalatória, animais selvagens, aves, halogenados, *Spheniscus magellanicus*.

ABSTRACT

SILVA, A.N.E. **Determination of the minimum anesthetic concentrations of isoflurane and sevoflurane in Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) and evaluation of these anesthetics under different oxygen inspired fractions.** 2017 Tese (Doutorado direto) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP.

The Magellanic penguin is the most present penguin species in Brazilian coast. It is frequent in the marine animal clinic, victims of disorientation, pollution, fishing and other anthropic actions. The objective of this study was to establish the minimum anesthetic concentrations (MAC) of isoflurane and sevoflurane in Magellanic penguins and later evaluate them under the influence of different inspired fractions of O₂ (FiO₂). Twenty adult animals, healthy and without distinction as to sex, were used. During the first stage, we focused on the establishment of MAC for both anesthetics. The animals were initially submitted to physical restraint and sequentially induced anesthesia with the aid of facial mask, followed by tracheal intubation, after adequate induction and subsequent maintenance under controlled ventilation, for both halogenates. MAC determination was performed according to the up-and-down design. In this way, each animal was exposed once to a predetermined anesthetic concentration, for a period of 15 minutes, followed by the application of an electric stimulus. According to the answer obtained, the next animal was submitted increased by 0.1 fraction (positive response) or reduced by 0.1 (negative response). To perform the second step, 12 animals were divided between the isoflurane and sevoflurane groups, with 6 individuals in each. All animals were anesthetized and maintained with 1 MAC of each halogenated, obtained in the first step, both anesthetic agents being diluted in fractions of 1.0, 0.6, 0.4 and 0.2 of O₂. The penguins were kept under anesthesia for 80 minutes, and every 20 minutes the O₂ fraction was changed, by lot, followed by a Latin square model. They were monitored during anesthesia FC, F_R, PAS, MAP, PAD, temperature, pH, HCO₃⁻, PaO₂ and PaCO₂ and electrolytes (Na⁺ and K⁺). The MAC values for isoflurane and sevoflurane were 1.91 V% and 3.53 V% respectively. In view of these results, FiO₂ of 1.0, 0.6 and 0.4 were shown to be safe for Magellanic penguins anesthetized with 1 MAC of isoflurane or sevoflurane maintained under controlled ventilation.

Keywords: Inhalant anesthesia, wildlife, bird, halogenated, *Spheniscus magellanicus*.

LISTA DE FIGURA

- Figura 1 - Curva de dissociação da hemoglobina de pinguins imperadores, comparada ao ganso cabeça listada e ao pato doméstico. _____ 23
- Figura 2 - Monitoração dos parâmetros. A. Eletrocardiografia, B e C. Saturação periférica de oxigênio, D. Pressão arterial não invasiva, E. Capnografia (sidestream), F. Temperatura cloacal (°C). _____ 24
- Figura 3 - Simulação da determinação da CAM para o sevoflurano pelo método up-and-down (quatro crossovers). _____ 29
- Figura 4 - Representação esquemática do delineamento utilizado na 2^o etapa (avaliação de diferentes frações inspiradas de O₂). _____ 31
- Figura 5 - Representação gráfica da CAM_{ISO} e CAM_{SEVO}, determinadas pela média aritmética. A. CAM_{ISO}, B. CAM_{SEVO}. _____ 32
- Figura 6 - Representação gráfica da CAM_{ISO} (A) e CAM_{SEVO} (B), determinadas por regressão logística. _____ 33
- Figura 7 - Frequência cardíaca (FC) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4 e 0,2). Os valores estão expressos em média ± erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). + Diferença entre o isoflurano e o sevoflurano. bpm – Batimento por minuto. _____ 35
- Figura 8 - Pressão arterial sistólica (PAS) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média ± erro padrão. _____ 36
- Figura 9 - Pressão arterial média (PAM) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média ± desvio padrão. _____ 37
- Figura 10 - Pressão arterial diastólica (PAD) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média ± erro padrão. _____ 38
- Figura 11- Saturação periférica de oxigênio (SpO₂) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em mediana com intervalo interquartil. _____ 39
- Figura 12 - Concentração de dióxido de carbono ao final da expiração (ETCO₂) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano

(1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. _____40

Figura 13 - Temperatura cloacal ($T^{\circ}\text{C}$) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. _____41

Figura 14 - Valor de pH de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). _____42

Figura 15 - Pressão arterial de dióxido de carbono (PaCO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). _____43

Figura 16 - Pressão arterial de oxigênio (PaO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). _____44

Figura 17 - Excesso de bases (EB) em pinguins-de-Magalhães submetidos a anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). _____46

Figura 18 - Valores de bicarbonato (HCO_3^-) em pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). _____47

Figura 19 - Concentração total de dióxido de carbono (TCO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). _____48

Figura 20 - Saturação arterial de oxigênio (SaO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em mediana com intervalo interquartil. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). _____49

Figura 21 - Valores de sódio (Na^+) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. _____50

Figura 22 - Valores de potássio (K^+) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. _____51

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Caracterização das alterações primárias, observada em quadros de desequilíbrio ácido-base simples e suas respectivas respostas compensatória em aves. _____22

Tabela 2 - Valores dos parâmetros fisiológicos mensurados, imediatamente antes da realização do estímulo elétrico, durante a determinação da Concentração Anestésica Mínima (CAM) de cada halogenado (CAM_{ISO} n=9 e CAM_{SEVO} n=13). As variáveis paramétricas estão dispostas em média $\pm$ desvio padrão e as não paramétricas em mediana [intervalo interquartil]._____34

Tabela 3 - Frequência cardíaca de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). + Diferença entre o isoflurano e o sevoflurano._____35

Tabela 4 - Pressão arterial sistólica de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.____36

Tabela 5 - Pressão arterial média de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.____37

Tabela 6 - Pressão arterial diastólica de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.____38

Tabela 7 - Saturação periférica de oxigênio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em mediana com intervalo interquartil._____39

Tabela 8 - Concentração de dióxido de carbono ao final da expiração de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____40

Tabela 9 - Temperatura cloacal de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____41

Tabela 10 - Valor de pH de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____42

Tabela 11 - Pressão arterial de dióxido de carbono de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes

frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____43

Tabela 12 - Pressão arterial de oxigênio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____44

Tabela 13 - Excesso de bases em pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____45

Tabela 14 - Valores de bicarbonato de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____46

Tabela 15 - Concentração total de dióxido de carbono de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____47

Tabela 16 - Saturação arterial de oxigênio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em mediana com intervalo interquartil._____48

Tabela 17 - Valores de sódio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____49

Tabela 18 - Valores de sódio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão._____50

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
REVISÃO DE LITERATURA	17
OBJETIVO	25
Objetivo geral	25
Objetivos específicos	25
MATERIAL E MÉTODOS.....	26
Delineamento experimental	26
Etapa 1 – Determinação da CAM	28
Etapa 2 – Avaliação das diferentes frações inspiradas de oxigênio (FiO ₂)	30
Análise estatística	30
RESULTADOS	32
Etapa 1 – Determinação da CAM	32
Etapa 2 – Avaliação das diferentes frações inspiradas de oxigênio (FiO ₂)	34
DISCUSSÃO.....	51
Etapa 1 – Determinação da CAM	51
Etapa 2 – Avaliação das diferentes frações inspiradas de oxigênio (FiO ₂)	55
CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXO 1.	73

INTRODUÇÃO

O exercício da medicina de animais selvagens caminha junto à anestesia. Isso se deve basicamente à dificuldade de acesso à grande maioria das espécies que, por não serem habituadas ao manejo pelo homem, sofrem significativamente com estresse resultante de procedimentos necessários para o estabelecimento de diagnósticos, prognósticos e tratamentos.

Um agravante nesse contexto está no manejo de animais selvagens enfermos e debilitados. Por vezes a contenção física é escolhida como primeira escolha para o manejo desses pacientes. Isso baseia-se em uma falsa sensação de segurança por parte dos profissionais, que associam a anestesia com um maior risco de óbito. Destaca-se que a contenção física pode ser mais deletéria que uma anestesia realizada de forma adequada. Outro ponto importante é a facilidade de acesso ao paciente selvagem anestesiado possibilitando uma avaliação mais detalhada e permitindo tanto a realização de procedimentos diagnósticos como terapêuticos.

Um exemplo clássico dessa situação são os pinguins da espécie *Spheniscus magellanicus*, popularmente conhecidos como pinguins-de-Magalhães e que regularmente encalham na costa brasileira, desorientados, subnutridos e desidratados. Além da desorientação, a ingestão de corpos estranhos e a contaminação por petróleo também são consideradas causas de relevância para o encalhe desses animais. Frente a este panorama, pode-se entender o quanto o desenvolvimento de protocolos de anestesia seguros pode colaborar para o manejo efetivo de reabilitação desses pacientes.

A anestesia inalatória é considerada a opção de escolha para anestesia de aves. Isso se deve basicamente a uma anatomofisiologia respiratória particular, que proporciona uma eficácia de hematose dez vezes superior à dos mamíferos. Isso faz com que o sistema respiratório destes animais seja o mais eficiente entre os vertebrados. Diante desse contexto a utilização de anestésicos inalatórios resulta em indução rápida e suave, seguida de manutenção estável e curto período de recuperação. Além disso, permitem rápida mudança de plano anestésico, podendo a anestesia do paciente ser superficializada ou aprofundada de forma rápida, conforme a necessidade. Assim, pode-se afirmar que os anestésicos inalatórios são opções seguras, tanto para pacientes hígidos como debilitados.

Baseado nessa problemática e buscando soluções que possam facilitar o manejo de reabilitação destes animais, o presente estudo procurou estabelecer as concentrações

anestésicas mínimas (CAM) de isofluorano e sevofluorano para pinguins-de-Magalhães e avaliar os possíveis efeitos da exposição a diferentes frações inspiradas de oxigênio (FiO_2) (1,0, 0,6, 0,4 e 0,2).

REVISÃO DE LITERATURA

Aves oceânicas por excelência, a Ordem Sphenisciformes é constituída por uma única Família, a Spheniscidae. Esta, por sua vez, é formada por 18 espécies distribuídas exclusivamente pelo Hemisfério Sul (SICK, 1997). Atualmente, 11 espécies são categorizadas como vulneráveis ou ameaçadas na lista vermelha da International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN, 2016). O pinguim-de-Magalhães, espécie mais comum em águas jurisdicionais brasileiras, apresenta o status de espécie quase ameaçada, sendo estimado uma população atual por volta de 1 a 1,3 milhões de casais, distribuídos em cerca de 130 colônias reprodutivas (SILVA-FILHO; RUOPPOLO, 2014).

Os pinguins são as aves mais adaptadas à vida marinha de todas as espécies aquáticas e, para viverem neste meio, possuem adaptações únicas entre os representantes desta Classe (SICK, 1997; FOWLER; FOWLER, 2001). O corpo fusiforme, associado a um pescoço e membros curtos, facilitam a hidrodinâmica e reduzem o seu tamanho, diminuindo a área de superfície corporal e consequentemente a perda de calor em águas frias (SILVA-FILHO; RUOPPOLO, 2014). Ao contrário de outras aves, seus ossos não são pneumáticos, característica que resulta em um aumento de densidade corpórea, facilitando a atividade do mergulho (SICK, 1997). As penas curtas e com elevada densidade de distribuição corporal são altamente adaptadas ao ambiente aquático (FOWLER; FOWLER, 2001). Dispostas como um arranjo ininterrupto e totalmente impermeável, a plumagem destes animais retém entre a pele e as penas uma camada de ar, que atua como um potente termoisolante. Associado a essa particularidade, possuem ainda um sistema de circulação contracorrente localizado em suas nadadeiras e pés bastante eficiente e, que tem como principal função a manutenção da temperatura central, funcionando através de vasos sanguíneos paralelos e com fluxo contrário, possibilitam o rápido resfriamento do fluxo direcionado a estas extremidades e o aquecimento do fluxo que retorna ao corpo (FOWLER; FOWLER, 2001). Ademais, sua atividade física durante a natação também é uma importante fonte de produção de calor (SICK, 1997).

Além dessas características, destaca-se também as particularidades adaptativas relacionadas à prática do mergulho. Tais adaptações permitem que, durante o mergulho, esses animais atinjam pressão de oxigênio no interior de seus sacos aéreos inferior a 20

mmHg e frequência cardíaca tão baixa quanto três batimentos por minuto (STOCKARD et al., 2005; ZENTENO-SAVIN et al., 2010).

Carismáticos, estes animais geralmente estão entre as principais atrações em parques zoológicos e aquários, ocupando um lugar de destaque em cativeiro, tanto pelo seu apelo junto ao público como pela sua importância junto à programas de conservação da vida marinha (FOWLER; FOWLER, 2001). Por se tratar de uma espécie migratória, os pinguins podem ser considerados elos de conectividade entre ecossistemas (STOKES et al., 2014). O pinguim-de-Magalhães, por exemplo, percorre cerca de 2000 km todos os anos, migrando do Sul da Argentina ao litoral brasileiro, sendo registrado em alguns casos animais que chegam a distâncias de até 3000 km (STOKES et al., 2014).

Por causa dessa extensa faixa de migração, estes animais assumem o papel de espécie guarda-chuva junto aos programas de conservação (STOKES et al., 2014). Essa denominação está correlacionada ao fato de ações direcionadas à conservação dessa espécie privilegiarem várias outras que coabitam esse mesmo território, colocando-as “embaixo do seu guarda-chuva”.

O pinguim-de-Magalhães é regularmente encontrado na costa brasileira em condições de debilidade geral, vítimas da indústria pesqueira e da poluição dos oceanos (GARCÍA-BORBOROGLU et al., 2010; MÄDER; SANDER; CASA JR, 2010). Frente a este panorama torna-se fundamental a intervenção humana por meio da reabilitação, sendo necessário um suporte médico veterinário adequado para que estes animais possam retornar ao seu habitat ou serem direcionados ao cativeiro (GARCÍA-BORBOROGLU et al., 2010; AGOSTINHO; MARANHO, 2016).

Como já citado anteriormente, a contenção química e ou anestesia, são procedimentos fundamentais no manejo de reabilitação de animais selvagens. Com os pinguins-de-Magalhães isso não é diferente, sendo indicada a contenção química e ou anestesia geral em procedimentos que podem variar desde a coleta de material a procedimentos cirúrgicos (SILVA-FILHO; RUOPPOLO, 2014). Entre os fármacos mais indicados e utilizados em pinguins destacam-se o isofluorano e sevofluorano, sendo o isofluorano atualmente o mais utilizado entre eles (FOWLER; FOWLER, 2001; BODLEY; SCHMITT, 2014).

O isofluorano e o sevofluorano são os anestésicos inalatórios mais utilizados em aves (GUNKEL; LAFORTUNE, 2005). No entanto, o sevofluorano, quando comparado ao isofluorano, ainda é uma opção menos utilizada e pouco avaliada nas diferentes espécies dessa Classe. Todavia, estudos com galinhas (*Gallus domesticus*)

(GUIMARÃES et al., 2000), carcarás (*Polyborus plancus*) (ESCOBAR et al., 2009), falcões de cauda vermelha (*Buteo jamaicensis*) (GRANONE et al., 2012) e algumas espécies de psitacídeos (NICOLAU et al., 2002; PHAIR et al., 2012) demonstraram resultados interessantes à sua utilização.

Guimarães *et al.* (2000) compararam os efeitos do halotano, isoflurano e sevoflurano em galinhas e comprovaram que tanto o isoflurano como o sevoflurano produziram resultados satisfatórios em relação ao tempo de indução, qualidade de manutenção e tempo de extubação, proporcionando também boa estabilidade cardiopulmonar. Entre os resultados observados, destaca-se menor depressão respiratória aliada à maior estabilidade cardíaca com o uso do sevoflurano.

Em falcões da cauda vermelha, a comparação entre o isoflurano e o sevoflurano apontou diferenças sutis entre eles, sendo observado um menor tempo de recuperação dos animais anestesiados com sevoflurano (GRANONE et al., 2012). Em águias (*Haliaeetus leucocephalus*), os resultados obtidos mostram também um menor tempo de recuperação com a utilização do sevoflurano em comparação ao isoflurano (JOYNER et al., 2008).

Em pinguins, pesquisas destinadas ao estudo de práticas e protocolos anestésicos são escassas, principalmente na espécie *Spheniscus magellanicus*. Partindo-se da premissa que a anestesia inalatória é considerada a melhor opção para aves, entende-se que avaliações comparativas entre fármacos, estudos de efeitos cardiovasculares, determinação da CAM e avaliação de diferentes de FiO₂ podem colaborar de forma significativa na elaboração destes protocolos.

A CAM é definida como a concentração alveolar mínima de um anestésico necessária para inibir a resposta em 50% dos pacientes expostos a um estímulo nociceptivo supramáximo. Desta forma, relaciona-se diretamente a potência dos anestésicos inalatórios (MERKEL; EGER, 1974). Apesar da terminologia concentração alveolar mínima ser amplamente utilizada na anestesiologia em geral, a ausência de estruturas alveolares nas aves torna o termo pouco apropriado, sendo preferido por diversos autores a denominação concentração anestésica mínima (LUDDERS; RODE; MITCHELL, 1989; LUDDERS; MITCHELL; RODE, 1990; LUDDERS, 1992; NAGANOBU; HAGIO, 2000; MERCADO et al., 2008; KIM et al., 2011; PAVEZ et al., 2011; ESCOBAR et al., 2012; PHAIR et al., 2012; FANG-TSE et al., 2013; ESCOBAR et al., 2016).

A CAM de um anestésico inalatório pode ser estabelecida por dois diferentes métodos. O método *bracketing*, no qual o paciente permanece anestesiado até que seja

obtida a CAM necessária para inibir a resposta motora ao estímulo supramáximo. Nesse caso, a metodologia utilizada baseia-se no aumento e na redução da concentração de anestésico em casos de resposta positiva ou negativa, respectivamente, sendo necessário que cada indivíduo seja exposto ao menos a duas respostas positivas intercaladas por negativas e vice versa (MERKEL; EGER, 1974). O outro método utilizado para se determinar a CAM é o *up-and-down*. Nesse caso cada paciente é exposto uma única vez ao estímulo nociceptivo supramáximo, sendo a concentração de anestésico administrada no próximo animal elevada em caso de resposta positiva, ou diminuída em caso de resposta negativa (DIXON, 1965; SONNER, 2002). As principais diferenças entre os dois métodos consistem, no tempo de anestesia necessário e na quantidade de estímulos inferidos no animal.

Os valores da CAM de isoflurano e sevoflurano em aves, se diferenciam conforme a espécie, sendo observado valores para CAM de isoflurano de 1,06 V% para o abutre-preto (KIM et al., 2011), 1,07 V% para papagaio-de-bico-grosso (MERCADO et al., 2008), 1,1 V% para galinhas domésticas (ESCOBAR et al., 2016), 1,25 V% em frangos (NAGANOBU; HAGIO, 2000), 1,30 V% em patos domésticos (LUDDERS; MITCHELL; RODE, 1990), 1,34 V% para o grou-canadense (LUDDERS; RODE; MITCHELL, 1989), 1,44 V% para cacatuas (CURRO; BRUNSON; PAUL-MURPHY, 1994), 1,46 V% para águia-serpente-de-crista (FANG-TSE et al., 2013) e de 2,05 V% para o falcão-de-cauda-vermelha (PAVEZ et al., 2011). A CAM de sevoflurano é de 2,03 V% para águia-serpente-de-crista (FANG-TSE et al., 2013), 2,39 V% para o papagaio-de-bico-grosso (PHAIR et al., 2012), 2,9 V% em galinhas-d'angola (ESCOBAR et al., 2012) e de 3,44% para o papagaio-verdadeiro (NICOLAU et al., 2002).

Além da CAM, outra variável importante que pode influenciar na qualidade e na segurança da anestesia inalatória é a FiO_2 . Sabe-se que o O_2 a 100% comumente utilizado como diluente na administração de anestésicos inalatórios, pode acarretar em quadros de atelectasia nos mamíferos, resultante da remoção de nitrogênio e substância surfactante alveolar, podendo sua utilização ser tóxica (HIGGINS, 1990; PEREIRA et al., 2008). Em um trabalho de avaliação da toxicidade do oxigênio, independente do mecanismo de ventilação, observou-se indícios de lesão a partir de 17 horas de exposição a concentrações de O_2 acima de 95% (DAVIS et al., 1983). A resposta pulmonar a toxicidade do oxigênio é caracterizada por uma fase inflamatória inicial, marcada por congestão vascular e edema alveolar, seguida por espessamento dos septos alveolares e

em fase um pouco mais tardia, morte celular (CRAPO, 1986; PEREIRA et al., 2008). Em aves sugere-se que a anatomia do sistema respiratório não acarrete em quadros de atelectasia com a mesma importância vista em mamíferos (HEARD, 1997).

Apesar da ausência de trabalhos vinculados à avaliação de toxicidade do O₂ em pinguins, um estudo direcionado para este fim em galinhas, mostrou ausência de qualquer sinal de lesão pulmonar em animais expostos a uma concentração de 100% de O₂ por um período de três horas (SOMAYAJULU et al., 1978). A ausência de lesões pulmonares nestas galinhas foi atribuída a uma ação aumentada da enzima superóxido dismutase e a ausência de células ciliadas em seus brônquios, pois estas, por serem mais sensíveis ao processo de oxidação, podem contribuir para ocorrência de lesões de forma mais precoce (SOMAYAJULU et al., 1978).

Outro fato interessante relacionado a este ponto refere-se à notável resistência de algumas espécies à hipoxemia. Stockard *et al.* (2005) observaram que pinguins imperadores (*Aptenodytes forsteri*) apresentaram valores inferiores a 20 mmHg de pressão de oxigênio (PO₂) no interior de seus sacos aéreos durante a prática do mergulho. Considerando que esses valores podem refletir um panorama do sistema pulmonar, pode-se sugerir que esses animais apresentem uma potencial resistência à hipoxemia. Apesar desta constatação, não se sabe se essa característica se limita ao período de mergulho ou pode ser extrapolada para outras situações, podendo influenciar inclusive na escolha da FiO₂ usada durante procedimentos anestésicos e ou de suporte.

A escolha da concentração de O₂ oferecida ao paciente durante a anestesia exige atenção e monitoramento. Dentre os métodos de monitoração, a hemogasometria arterial é um dos mais indicados por fornecer informações relacionadas à oxigenação tecidual e ao equilíbrio ácido-base (BATEMAN, 2008; QUIROGA et al., 2008).

Através da hemogasometria arterial faz-se possível a obtenção dos valores de potencial hidrogeniônico (pH), pressão de dióxido de carbono (PaCO₂), pressão de oxigênio (PaO₂), saturação de oxigênio (SaO₂), bicarbonato (HCO₃⁻), excesso de bases (EB), concentração total de dióxido de carbono (TCO₂), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cloro (Cl⁻), cálcio ionizado, intervalo aniônico, lactato e outras variáveis a depender da disponibilidade de aferição no equipamento utilizado.

De maneira simplificada, o equilíbrio ácido-base pode ser dividido em dois componentes, respiratório e metabólico, e os parâmetros obtidos pelo exame de hemogasometria podem ser divididos e agrupados de acordo com esses componentes (MONTESINOS; ARDIACA, 2013). Desta forma, os valores de PaO₂ e PaCO₂

relacionam-se com o componente respiratório e os de HCO_3^- , BE, TCO_2 ao componente metabólico do equilíbrio ácido-base (MONTESINOS; ARDIACA, 2013).

Em aves, um distúrbio comum do equilíbrio ácido-base é a acidose respiratória, resultante do manejo de indução anestésica com máscara sem prévia sedação ou reflexa à depressão respiratória no período transanestésico, ambas caracterizadas pelo acúmulo de dióxido de carbono (CO_2), redução do pH e aumento compensatório do HCO_3^- (ESCOBAR et al., 2009; CARREGARO et al., 2015). Além disso, quadros metabólicos ligados à produção de lactato, como reflexo do estresse de contenção física, podem resultar em desequilíbrio no intervalo aniônico, com posterior acidose (MAXIME; HASSANI, 2014).

A exemplo do que é observado em mamíferos, as alterações de natureza não respiratória em aves podem ser compensadas por vias respiratórias e vice-versa (BATEMAN, 2008; MONTESINOS; ARDIACA, 2013), sendo sugerido que o funcionamento dos mecanismos compensatórios seja similar aos dos mamíferos (Tabela 1).

Tabela 19 - Caracterização das alterações primárias, observada em quadros de desequilíbrio ácido-base simples e suas respectivas respostas compensatória em aves.

Distúrbio	Valor pH	Alteração primária	Compensação
Acidose respiratória	↓	↑ PaCO_2	↑ HCO_3^-
Alcalose respiratória	↑	↓ PaCO_2	↓ HCO_3^-
Acidose metabólica	↓	↓ HCO_3^-	↓ PaCO_2
Alcalose metabólica	↑	↑ HCO_3^-	↑ PaCO_2

Fonte: Própria autoria.

A grande maioria das aves apresenta valor de pH ao redor de 7,5 (MONTESINOS; ARDIACA, 2013). Em pinguins, sugere-se que esse valor possa variar de acordo com a espécie, habitat ou estado fisiológico (MURRISH, 1982; MAXIME; HASSANI, 2014). Dentre as variações fisiológicas pode-se destacar o período de muda de penas, fase na qual o aumento de demanda energética, o jejum prolongado e a queima de gordura, são potenciais pontos de influência nos valores de gases sanguíneos e do equilíbrio ácido-base (MAXIME; HASSANI, 2014). A acidose respiratória geralmente é observada nesse período, sendo reflexa à hipoventilação e hipoalbuminemia com consequente

desequilíbrio aniônico (CHEREL; LELOUP; LE MAHO, 1988; GHEBREMESKEL et al., 1989; GHEBREMESKEL et al., 1992; MAXIME; HASSANI, 2014).

Outro ponto importante e de potencial influência nos valores de gases sanguíneos destes animais refere-se a alta afinidade que a hemoglobina de pinguins apresenta em relação ao O_2 (LENFANT et al., 1969; MEIR; PONGANIS, 2009). Essa característica é traduzida por valores elevados de saturação venosa de O_2 (SO_2) em relação a pressão de oxigênio (PO_2), resultando em uma curva de dissociação deslocada a esquerda, que a princípio, mostra-se comprovadamente presente apenas em aves que enfrentam situações onde a demanda por O_2 se faz essencial, como o ganso-cabeça-listada (*Anser indicus*) (BLACK; TENNEY, 1980) que realiza migrações em altitudes elevadas, pinguins devido a atividade do mergulho (MEIR; PONGANIS, 2009) e possivelmente ratitas, pela intensa atividade exigida ao correr (ARAÚJO et al., 2013). Essa particularidade mostra-se bastante clara na comparação dessas espécies com o pato doméstico, feita por Meir e Ponganis (2009) (Figura 1). Destaca-se que a afinidade da hemoglobina pelo O_2 em espécies de aves que não possuem esse desafio, como por exemplo as galinhas e os patos domésticos, é inferior à observada em mamíferos (STURKIE, 1968).

Figura 23 - Curva de dissociação da hemoglobina de pinguins imperadores, comparada ao ganso cabeça listada e ao pato doméstico.

Fonte: Modificado de Meir e Ponganis, 2009.

Apesar de todo o contexto abordado, a anestesia em pinguins é um procedimento pouco relatado na literatura atual, sendo que os poucos estudos disponíveis abordam técnicas injetáveis de anestesia ou relatos de casos relacionados a técnicas de anestesia inalatória. Dentre as opções de anestesia injetável, a associação tiletamina e zolazepam, utilizada em pinguins-rei (*Aptenodytes patagonicus*) de vida livre, foi considerada um protocolo satisfatório, apesar de proporcionar apneia prolongada e miorelaxamento insatisfatório (THIL; GROSCOLAS, 2002). No que se refere à anestesia inalatória, são encontradas citações do uso de isoflurano e ou sevoflurano em relatos clínicos e cirúrgicos (KOOYMAN et al., 1992; BRADFORD et al., 2008; FIELD et al., 2012; SELLERA et al., 2014) ou relacionadas à descrição de variáveis hemogasométricas (GAROFALO et al., 2013). No entanto, em nenhum destes estudos a prática da anestesia inalatória é o alvo principal.

OBJETIVO

Objetivo geral

Estabelecer as concentrações anestésicas mínimas (CAM) de isofluorano e de sevofluorano em pinguins da espécie *Spheniscus magellanicus*, seguido da avaliação destas anestésias sob diferentes concentrações de oxigênio como veículo de diluição.

Objetivos específicos

Estabelecer a CAM necessária para abolir a resposta a um estímulo supramáximo em 50% da população de pinguins da espécie *Spheniscus magellanicus*, para ambos os agentes inalatórios, utilizando o método *up-and-down*.

Avaliar o efeito da exposição a diferentes frações inspiradas de oxigênio (FiO₂) (100%, 60%, 40% e 20%) na anestesia com isofluorano e sevofluorano, através dos valores de FC, FR, PAS, PAM, PAD, SpO₂, ETCO₂, T°C, pH, PaCO₂, PaO₂, EB, HCO₃⁻, TCO₂, SaO₂, Na⁺ e K⁺, buscando estabelecer um valor mínimo aceitável desta fração, sem a ocorrência de uma possível hipoxemia.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (protocolo n° 14.1.87.74.8) e autorizado pelo Instituto Chico Mendes (autorização para atividades com finalidade científica/ n° 41254-1), conforme exigências da legislação brasileira.

Foram utilizados 20 animais provenientes do Aquário Municipal de Santos, adultos, sabidamente hígidos, pesando entre 3 a 4 kg e sem sexo determinado. A comprovação de higidez foi baseada na realização de exame físico e análise do histórico, baseado em exames de hemograma, bioquímica sérica e coproparasitológicos, realizados periodicamente pela instituição mantenedora. Todos os animais utilizados nesse experimento, já estavam na coleção da instituição a mais de um ano, sendo submetidos ao mesmo manejo e expostos as mesmas condições ambientais.

Delineamento experimental

A realização do presente experimento foi dividida em duas etapas, etapa 1 determinação da CAM de isoflurano e sevoflurano e etapa 2 avaliação de diferentes FiO_2 em pinguins anestesiados com isoflurano e sevoflurano. Para a realização de ambas as etapas foram estabelecidos os mesmos padrões de jejum, contenção e estabilização. Entre a realização de cada etapa foi estabelecido um intervalo mínimo de 30 dias.

Para execução do procedimento, os animais foram submetidos a um jejum alimentar prévio de no mínimo 12 horas, seguindo o manejo alimentar habitual do Aquário de Santos. Os mesmos foram submetidos à contenção física, realizada manualmente, posicionando-se primeiramente a mão direita atrás da cabeça do animal, seguido da imobilização de seu corpo com a mão esquerda, posicionada logo abaixo das asas, de forma a envolver o animal para posteriormente trazê-lo junto ao corpo do operador. Após a correta contenção, os animais foram submetidos à anestesia inalatória¹ por vaporização de isoflurano² ou sevoflurano³, a uma taxa que variou entre

¹ Conquest 3000®, HB Hospitalar, São Paulo, São Paulo, Brasil.

² Isoforine® 240 ml, Cristália Produtos Químicos Farmacêuticos Ltda, São Paulo, São Paulo, Brasil.

³ Sevocris® 250 ml, Cristália Produtos Químicos Farmacêuticos Ltda, São Paulo, São Paulo, Brasil

4 a 5 V% e 6 a 8 V% respectivamente, com uma FiO_2 de 1,0 a um fluxo de 1 L/minuto, com auxílio de máscara facial e um sistema avalvular do tipo Baraka. Após a indução anestésica, determinada pelo fim da relutância à máscara e pelo relaxamento de pescoço e membros, os animais foram intubados com sonda endotraqueal 4,5 ou 5 (conforme tamanho apropriado) com balonete não insuflado, devido à presença de anéis traqueais completos, e mantidos sob ventilação controlada a uma pressão inspiratória de 10 cmH_2O , com uma relação inspiratória: expiratória de 1:2 e em decúbito esternal. Devido as particularidades anatômicas da traqueia destes animais, o processo de intubação foi feito de forma superficial e com uma sonda de calibre próximo ao da luz traqueal, desta forma evitou-se uma possível intubação seletiva, ocasionada pela presença de um septo traqueal e obteve-se o adequado ajuste para execução do modelo de ventilação escolhido.

Durante todo o procedimento anestésico foi administrado Ringer lactato, a uma taxa de infusão de 3 mL/kg/h , com auxílio de uma bomba de infusão⁴ após venopunção da veia axilar e a temperatura cloacal foi mantida entre 38,5 e 39,5°C. Nos casos em que a temperatura cloacal estivesse abaixo do limite estipulado, utilizou-se como técnicas alternativas de manutenção de calor e ou aquecimento, mantas aluminizadas, bolsas com água aquecida e ou fluxo de ar quente. O período de indução e paramentação foi em média de 20 minutos.

Durante a realização dos procedimentos anestésicos foram monitorados⁵ os parâmetros fisiológicos no momento inicial, seguido de nova monitoração a cada 10 minutos. Assim, foram monitorados a frequência (FC) e o ritmo cardíaco, com eletrocardiografia em derivação II, frequência respiratória (F_R), de acordo com a frequência necessária para manutenção dos valores de concentração de CO_2 ao final da expiração (ETCO_2) entre 30 e 40 mmHg, saturação periférica de oxigênio (SpO_2), posicionando-se o dispositivo de leitura nos pés ou na porção lateral da cavidade oral, ETCO_2 , por meio de capnógrafo sidestream, frações inspiradas e expiradas de anestésico inalatório, através do analisador de gases⁶, pressões arteriais sistólica, média e diastólica (PAS, PAM e PAD) pelo método oscilométrico com um manguito de comprimento de 40% da circunferência do local aferido, localizado no tarsometarso distal e temperatura cloacal, aferida com termômetro de mercúrio (Figura 2).

⁴ ST 1000, Samtronic Infusion Systems®, Socorro, São Paulo, Brasil.

⁵ Life Window LW6000, Digicare®, Boynton Beach, Florida, Estados Unidos.

⁶ I - Stat® 1, Abbott Point of Care Inc. Illinois, Estados Unidos.

Figura 24 - Monitoração dos parâmetros. A. Eletrocardiografia, B e C. Saturação periférica de oxigênio, D. Pressão arterial não invasiva (oscilométrico), E. Capnografia (sidestream), F. Temperatura cloacal (°C).

Fonte: Própria autoria.

Em ambas as etapas do experimento (CAM e FiO_2) o analisador de gases foi diariamente calibrado, com três diferentes frações de isoflurano (0,696 %, 1,386 %, 2,078 %) ou sevoflurano (0,507 %, 1,506 %, 2,930 %), de acordo com procedimento a ser realizado. A calibração foi realizada através do fornecimento de um pequeno volume de uma mistura de gases previamente preparada e de concentração conhecida. Após leitura do resultado obtido pelo analisador, o procedimento foi repetido por mais duas vezes, sendo obtido ao final três diferentes resultados. Ao final os resultados mensurados eram comparados com o valor real da mistura previamente conhecido e através de uma fórmula resultante de uma regressão linear, gerada a partir desta comparação, os valores posteriormente obtidos durante o experimento eram corrigidos.

Etapa 1 – Determinação da CAM

Nesta primeira etapa foi determinado a CAM do isoflurano e do sevoflurano, ambas delineadas pelo método *up-and-down*. De acordo com esse modelo de delineamento, cada indivíduo foi exposto uma única vez a cada fração expirada de isoflurano e sevoflurano (Fe_{ISO} / Fe_{SEVO}), por um período de 15 minutos, seguido da

aplicação de um estímulo elétrico⁷ (30 mA 50 Hz 6,5 ms) com duração de um minuto, conduzido por duas agulhas (20 x 5,5), posicionadas a uma distância de um centímetro entre elas, inseridas na região subcutânea, na face medial de um dos membros pélvicos. A aplicação desse estímulo promoveu uma resposta positiva ou negativa, caracterizadas por movimentação do membro contralateral e/ou outras regiões como asas, pescoço e cabeça (<https://youtu.be/BIWtWGMp6Vg>) ou por ausência destes movimentos, combinado ou não com a movimentação do membro estimulado (https://youtu.be/U8w7cQo1J_c) respectivamente. Diante de uma resposta positiva, o próximo animal foi submetido à anestesia com uma Fe_{ISO}/Fe_{SEVO} aumentada em 0,1, no caso negativo, a Fe_{ISO}/Fe_{SEVO} foi reduzida em 0,1. No presente experimento a taxa de vaporização inicial de isoflurano e sevoflurano, foi de 1,8 V% e 3,5 V% respectivamente.

Para a determinação da CAM de ambos os agentes inalatórios para os pinguins-de-Magalhães fez-se necessário a obtenção de no mínimo quatro *crossovers*, ou seja, mudança na Fe_{ISO} e Fe_{SEVO} em mais ou menos 0,1, não necessariamente sequenciais, sendo um resultado positivo seguido de um negativo ou um negativo seguido por um positivo (Figura 3). Para a estabilização das Fe_{ISO} e Fe_{SEVO} , foi estabelecido um período de 15 minutos.

Figura 25 - Simulação da determinação da CAM para o sevoflurano pelo método up-and-down (quatro crossovers).

Anestésico	Animais								
Fe_{SEVO} (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2%	+								
2,2%		+		+		+		+	
2,4%			-		-		-		-

Fonte:
Própria
autoria.

Os
valores
 Fe_{ISO} e

Fe_{SEVO} foram corrigidos de acordo com a fórmula resultante da regressão linear gerada a partir da calibração do analisador de gases (Anexo 1). Destaca-se que por ser realizado ao nível do mar, não foi necessário realizar a correção pressórica.

⁷ Estimulador Elétrico MT 10 BR, Medicir®, São Paulo, São Paulo, Brasil.

Etapa 2 – Avaliação das diferentes frações inspiradas de oxigênio (FiO₂)

Nesta segunda etapa 12 animais foram distribuídos igualmente em dois grupos (isoflurano e sevoflurano) e submetidos a diferentes FiO₂ (0,6, 0,4 e 0,2), sendo inicialmente anestesiados e estabilizados conforme anteriormente descrito, e posteriormente mantidos a 1 CAM, de isoflurano e sevoflurano, obtidas na primeira etapa. Durante o período de indução, paramentação e estabilização, os animais foram expostos a FiO₂ de 1,0, seguido da exposição das três diferentes FiO₂ propostas nesse estudo.

As três FiO₂ descritas foram escolhidas por casualidade, através de sorteios, perfazendo um modelo de quadrado latino. Nesta etapa, a exemplo da anterior, os animais foram mantidos sob ventilação controlada.

Durante essa etapa os animais foram monitorados conforme o descrito anteriormente. Ademais, foram colhidas amostras de sangue (0,2 mL) da artéria tibial em heparina sódica, para a mensuração de pH, pressão arterial de O₂ (PaO₂) e CO₂ (PaCO₂), saturação arterial de O₂ (SaO₂), EB, HCO₃⁻, Na⁺ e K⁺, todos aferidos ao final de cada período de exposição, pré-estabelecido em 20 minutos (Figura 4). Todas as amostras foram avaliadas imediatamente após a coleta.

Figura 26 - Representação esquemática do delineamento utilizado na 2ª etapa (avaliação de diferentes frações inspiradas de O₂).

Fonte: Própria autoria.

Análise estatística

A análise estatística foi realizada com auxílio do software GraphPad Prism 7, e todos os dados foram avaliados quanto a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. Todos os testes foram realizados ao nível de significância de 5%, ou seja, as diferenças foram consideradas significativas quando $P < 0,05$.

As CAMs do isoflurano e do sevoflurano foram determinadas utilizando dois métodos distintos. O primeiro método utilizado foi a média aritmética da concentração da Fe_{ISO} ou Fe_{SEVO} dos animais que compuseram os quatro crossovers em cada grupo (NAGANOBU; HAGIO, 2000; VALVERDE et al., 2003; AGUADO; BENITO; DE SEGURA, 2011). O segundo método foi baseado na resposta quantal, no qual todos os valores de Fe_{ISO} e Fe_{SEVO} foram submetidos ao teste de regressão logística para assim obter o valor de cada CAM (SONNER, 2002; VALVERDE et al., 2003; ESCOBAR et al., 2016).

Para comparação entre as FiO_2 de 0,6, 0,4 e 0,2 com a FiO_2 de 1,0 os dados referentes à FC, PAS, PAM, PAD, $ETCO_2$, temperatura cloacal, pH, $PaCO_2$, PaO_2 , BE, HCO_3^- , TCO_2 , Na^+ e K^+ foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para mensurações repetidas seguindo do teste de Dunnett. Já os dados referentes a F_R , SpO_2 e SaO_2 , não-paramétricos, foram submetidos ao teste de Friedman seguido da correção de Dunn.

Os dados obtidos (FC, F_R , PAS, PAM, PAD, $ETCO_2$, SpO_2 , temperatura cloacal, pH, $PaCO_2$, PaO_2 , SaO_2 , BE, HCO_3^- , TCO_2 , Na^+ e K^+) em cada fração expirada dos pinguins anestesiados com isoflurano e sevoflurano foram comparados entre si (FiO_2 0,2 anestesiado com isoflurano com FiO_2 0,2 sevoflurano, por exemplo) por meio da ANOVA de dois fatores para mensurações repetidas seguido do teste de Tukey.

RESULTADOS

Etapa 1 – Determinação da CAM

Para o estabelecimento da CAM de isofluorano (CAM_{ISO}) na metodologia proposta foram necessários 9 animais e para o sevofluorano (CAM_{SEVO}) 13 animais. A CAM_{ISO} e CAM_{SEVO} obtidas para pinguins-de-Magalhães pela média aritmética foi de $1,93 \pm 0,10$ V% e $3,38 \pm 0,36$ V% respectivamente (Figura 5). Por regressão logística, esses valores foram de $1,91 \pm 0,10$ V% para CAM_{ISO} e $3,53 \pm 0,13$ V% para CAM_{SEVO} (Figura 6).

Figura 27 - Representação gráfica da CAM_{ISO} e CAM_{SEVO} , determinadas pela média aritmética. A. CAM_{ISO} , B. CAM_{SEVO} .

Fonte: Própria autoria.

Figura 28 - Representação gráfica da CAM_{ISO} (A) e CAM_{SEVO} (B), determinadas por regressão logística.

Fonte: Própria autoria.

Entre os parâmetros fisiológicos mensurados durante determinação da CAM_{ISO} e da CAM_{SEVO} em pinguins-de-Magalhães, observou-se diferença estatística na F_R , PAS e PAD. A FC, temperatura cloacal, PAM, SpO₂ e ETCO₂ não apresentaram diferenças estatísticas entre eles. Os parâmetros observados, foram colhidos imediatamente antes da realização do estímulo elétrico. Apesar dessas diferenças os resultados mantiveram-se dentro de limites aceitáveis para a espécie (SILVA-FILHO; RUOPPOLO) (Tabela 2).

Tabela 20 - Valores dos parâmetros fisiológicos mensurados, imediatamente antes da realização do estímulo elétrico, durante a determinação da Concentração Anestésica Mínima (CAM) de cada halogenado (CAM_{ISO} n=9 e CAM_{SEVO} n=13). As variáveis paramétricas estão dispostas em média $\pm$ desvio padrão e as não paramétricas em mediana [intervalo interquartil].

Parâmetro	CAM_{ISO}	CAM_{SEVO}	Valor de P
FC (bpm)	119 $\pm$ 18,3	123 $\pm$ 25,4	----
F_R (mpm)	14 [10 – 15]	9 [6 – 10]	0,0002
PAS (mmHg)	139 $\pm$ 19,1	123 $\pm$ 14,8	0,0416
PAM (mmHg)	101 $\pm$ 17,3	91 $\pm$ 15,45	----
PAD (mmHg)	78 $\pm$ 14,4	62 $\pm$ 18,1	0,0283
SpO₂ (%)	98 [97 – 98]	96 [95 – 98,5]	----
ETCO₂ (mmHg)	32 $\pm$ 3,1	31 $\pm$ 2,2	----
Temperatura °C	39,4 $\pm$ 0,3	39,1 $\pm$ 0,1	----

Fonte: Própria autoria.

Etapa 2 – Avaliação das diferentes frações inspiradas de oxigênio (FiO₂)

Os parâmetros mensurados durante a exposição dos animais as FiO₂ de 1,0, 0,6, 0,4 e 0,2, anestesiados com 1 CAM_{ISO} (1,9 V%) e 1 CAM_{SEVO} (3,5 V%), foram comparados dentro de cada halogenado e posteriormente entre eles.

A FC dos animais expostos a diferentes FiO_2 , anestesiados e posteriormente mantidos a 1 CAM_{ISO} e a 1 CAM_{SEVO} , apresentou diferença estatística apenas entre as FiO_2 de 1,0 e 0,6 dos animais anestesiados com isoflurano. Na comparação entre os halogenados houve diferença estatística apenas na FiO_2 de 0,6 (Figura 7 e Tabela 3).

Figura 29 - Frequência cardíaca (FC) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4 e 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). + Diferença entre o isoflurano e o sevoflurano. bpm – Batimento por minuto.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 21 - Frequência cardíaca de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isoflurano e sevoflurano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0). + Diferença entre o isoflurano e o sevoflurano.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	132 $\pm$ 36,9	86 $\pm$ 10,6* ⁺	99 $\pm$ 27,4	99 $\pm$ 19,7
1 CAM_{SEVO}	128 $\pm$ 19,3	130 $\pm$ 37,1 ⁺	125 $\pm$ 22,7	123 $\pm$ 28,1

*1 CAM_{ISO} – 0,6 $p = 0,0413$; + ISO/SEVO – 0,6 $p = 0,0007$.

Os valores de PAS também não apresentaram diferença estatística entre as diferentes frações inspiradas e os diferentes halogenados (Figura 8 e Tabela 4).

Figura 30 - Pressão arterial sistólica (PAS) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 22 - Pressão arterial sistólica de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	127 $\pm$ 22,6	129 $\pm$ 25,2	127 $\pm$ 22,8	113 $\pm$ 26,8
1 CAM_{SEVO}	110 $\pm$ 13,9	120 $\pm$ 21,1	111 $\pm$ 17,1	104 $\pm$ 17,5

Não houve diferença na PAM entre as diferentes frações inspiradas e também entre o isofluorano e o sevofluorano (Figura 9 e Tabela 5).

Figura 31 - Pressão arterial média (PAM) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 23 - Pressão arterial média de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	81 $\pm$ 22,9	96 $\pm$ 37,2	91 $\pm$ 33,1	76 $\pm$ 29,0
1 CAM_{SEVO}	80 $\pm$ 14,9	89 $\pm$ 16,2	85 $\pm$ 22,8	72 $\pm$ 19,3

A PAD, similar a PAS e PAM também não apresentou diferença estatística entre as diferentes frações inspiradas e entre os halogenados (Figura 10 e Tabela 6).

Figura 32 - Pressão arterial diastólica (PAD) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 24 - Pressão arterial diastólica de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	58 $\pm$ 27,7	73 $\pm$ 38,4	71 $\pm$ 40,9	54 $\pm$ 34,5
1 CAM_{SEVO}	65 $\pm$ 18,9	73 $\pm$ 18,5	74 $\pm$ 24,5	54 $\pm$ 22,9

Os resultados da SpO_2 não variaram estatisticamente entre as diferentes frações inspiradas e entre os dois halogenados avaliados. (Figura 11 e Tabela 7).

Figura 33- Saturação periférica de oxigênio (SpO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em mediana com intervalo interquartil.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 25 - Saturação periférica de oxigênio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em mediana com intervalo interquartil.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	99 [98,2 – 99,2]	99 [97,5 – 100]	99 [94,2 – 100]	99 [89,7 – 99,2]
1 CAM_{SEVO}	100 [96,5 – 100]	99 [95,7 – 100]	99 [98,7 – 99,2]	98 [91,7 – 99,2]

Os valores de ETCO_2 não apresentaram variações estatísticas entre as diferentes FiO_2 e entre os dois halogenados avaliados (Figura 12 e Tabela 8).

Figura 34 - Concentração de dióxido de carbono ao final da expiração (ETCO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 26 - Concentração de dióxido de carbono ao final da expiração de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	38 $\pm$ 6,8	36 $\pm$ 5,1	36 $\pm$ 6,1	39 $\pm$ 7,8
1 CAM_{SEVO}	38 $\pm$ 8,1	31 $\pm$ 3,5	31 $\pm$ 7,4	33 $\pm$ 7,4

Os valores de temperatura cloacal não variaram estatisticamente entre as diferentes FiO_2 e entre o isofluorano e o sevofluorano (Figura 13 e Tabela 9).

Figura 35 - Temperatura cloacal ($^{\circ}\text{C}$) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 27 - Temperatura cloacal de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	39,3 $\pm$ 0,8	38,6 $\pm$ 0,7	38,6 $\pm$ 0,6	38,6 $\pm$ 0,4
1 CAM_{SEVO}	38,6 $\pm$ 0,4	38,3 $\pm$ 0,2	38,3 $\pm$ 0,4	38,4 $\pm$ 0,4

O pH de pinguins anestesiados com 1 CAM de isofluorano e sevofluorano, apresentaram diferenças estatísticas entre as frações de 1,0 e 0,4 nos animais anestesiados isofluorano e 1,0 e 0,6 com sevofluorano. Na comparação entre os halogenados não houve variação estatística (Figura 14 e Tabela 10).

Figura 36 - Valor de pH de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0).

Fonte: Própria autoria.

Tabela 28 - Valor de pH de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	7,42 $\pm$ 0,07	7,41 $\pm$ 0,07	7,50 $\pm$ 0,09*	7,45 $\pm$ 0,09
1 CAM_{SEVO}	7,40 $\pm$ 0,10	7,56 $\pm$ 0,10*	7,55 $\pm$ 0,12	7,56 $\pm$ 0,01

*1 CAM_{ISO} – 0,4 p = 0,0277; *1 CAM_{SEVO} – 0,6 p = 0,0097.

A PaCO_2 variou estatisticamente entre as frações de 1,0 e 0,4, nos animais anestesiados 1 CAM_{ISO} e 1,0 e 0,6 com 1 CAM_{SEVO} . Não houve diferença estatística entre os dois anestésicos (Figura 15 e Tabela 11).

Figura 37 - Pressão arterial de dióxido de carbono (PaCO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0).

Fonte: Própria autoria.

Tabela 29 - Pressão arterial de dióxido de carbono de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	43 $\pm$ 10,5	40 $\pm$ 7,5	34 $\pm$ 7,9*	36 $\pm$ 6,9
1 CAM_{SEVO}	47 $\pm$ 13,8	33 $\pm$ 6,9*	31 $\pm$ 9,6	32 $\pm$ 7,3

*1 CAM_{ISO} - 0,4 $p = 0,0467$; *1 CAM_{SEVO} - 0,6 $p = 0,0133$.

Resultados de PaO_2 variaram estatisticamente em relação ao basal (1,0) nas frações de 0,6, 0,4, e 0,2, tanto nos animais anestesiados com 1 CAM_{ISO} como nos com 1 CAM_{SEVO} . Não houve diferença estatística entre os dois anestésicos em nenhum momento (Figura 16 e Tabela 12).

Figura 38 - Pressão arterial de oxigênio (PaO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0).

Fonte: Própria autoria.

Tabela 30 - Pressão arterial de oxigênio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	440 $\pm$ 90,6	197 $\pm$ 71,1*	137 $\pm$ 47,9*	71 $\pm$ 11,8*
1 CAM_{SEVO}	382 $\pm$ 100	184 $\pm$ 82*	139 $\pm$ 43,4*	75 $\pm$ 14,0*

*1 CAM_{ISO} – 0,6 $p = 0,0142$, 0,4 $p = 0,0003$, 0,2 $p = 0,0003$; *1 CAM_{sevo} – 0,6 $p = 0,0454$, 0,4 $p = 0,0142$, 0,2 $p = 0,0018$.

Os resultados de EB apresentaram diferença estatística entre as frações de 1,0 e 0,2 nos pinguins anestesiados com isofluorano. Entre os animais anestesiados com sevofluorano e na comparação entre halogenados, não foi observado diferença estatística (Figura 17 e Tabela 13).

Figura 39 - Excesso de bases (EB) em pinguins-de-Magalhães submetidos a anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0).

Fonte: Própria autoria.

Tabela 31 - Excesso de bases em pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	3,6 $\pm$ 1,5	1,8 $\pm$ 1,7	1,6 $\pm$ 1,6	0,3 $\pm$ 2,4*
1 CAM_{SEVO}	4,5 $\pm$ 4,4	4 $\pm$ 2,1	4,6 $\pm$ 2,6	3,8 $\pm$ 2,2

*1 CAM_{ISO} – 0,2 p = 0,0210.

Os valores de HCO_3^- de pinguins anestesiados com 1 CAM de isofluorano e sevofluorano, apresentaram diferenças estatísticas nas frações de 0,4 e 0,2 em relação ao basal nos animais anestesiados isofluorano e de 0,6 com sevofluorano. Na comparação entre os halogenados não houve variação estatística (Figura 18 e Tabela 14).

Figura 40 - Valores de bicarbonato (HCO_3^-) em pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0).

Fonte: Própria autoria.

Tabela 32 - Valores de bicarbonato de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	27,3 $\pm$ 2	25,9 $\pm$ 1,7	24,2 $\pm$ 2,1*	23,9 $\pm$ 2,3*
1 CAM_{SEVO}	28,9 $\pm$ 4,1	25,6 $\pm$ 3,4*	26,7 $\pm$ 2,1	25,6 $\pm$ 1,5

*1 CAM_{ISO} – 0,4 p = 0,0277, 0,2 p = 0,0140; *1 CAM_{sevo} – 0,6 p = 0,0424.

Os resultados de TCO_2 de pinguins anestesiados com 1 CAM de isofluorano e sevofluorano e submetidos a FiO_2 de 1,0, 0,6, 0,4, e 0,2, apresentaram diferenças estatísticas nas frações de 0,4 e 0,2 em relação ao basal nos animais anestesiados isofluorano e de 0,6 com sevofluorano. Na comparação entre os halogenados não houve variação estatística (Figura 19 e Tabela 15).

Figura 41 - Concentração total de dióxido de carbono (TCO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0).

Fonte: Própria autoria.

Tabela 33 - Concentração total de dióxido de carbono de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	28,6 $\pm$ 2,3	27,3 $\pm$ 1,9	25,7 $\pm$ 2,3*	25 $\pm$ 2,3*
1 CAM_{SEVO}	30,3 $\pm$ 4,5	26,6 $\pm$ 3,6*	27,6 $\pm$ 2,3	26,5 $\pm$ 1,6

*1 CAM_{ISO} – 0,4 p = 0,0439, 0,2 p = 0,0245; *1 CAM_{sevo} – 0,6 p = 0,0284.

A SaO_2 apresentou diferença estatística na FiO_2 de 20% em relação ao basal, nos animais anestesiados com isofluorano e sevofluorano. Não houve diferença na comparação entre eles, apesar disso houve variação proporcional a diminuição da FiO_2 (Figura 20 e Tabela 16).

Figura 42 - Saturação arterial de oxigênio (SaO_2) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em mediana com intervalo interquartil. * Diferença do momento em relação ao basal (1,0).

Fonte: Própria autoria.

Tabela 34 - Saturação arterial de oxigênio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em mediana com intervalo interquartil.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	100 [100 – 100]	100 [97,7 – 100]	99 [97 – 100]	94 [90,5 – 96,2]*
1 CAM_{SEVO}	100 [100 – 100]	100 [97,7 – 100]	99 [97,5 – 100]	97 [91,2 – 99]*

*1 CAM_{ISO} – 0,2 p = 0,0036; *1 CAM_{sevo} – 0,2 p = 0,0156.

Os valores de Na^+ não variaram estatisticamente entre as diferentes FiO_2 e entre o isofluorano e o sevofluorano (Figura 21 e Tabela 17).

Figura 43 - Valores de sódio (Na^+) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 35 - Valores de sódio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	144 $\pm$ 1,1	145 $\pm$ 1,2	145 $\pm$ 1,4	144 $\pm$ 1,3
1 CAM_{SEVO}	144 $\pm$ 1,8	145 $\pm$ 1,5	144 $\pm$ 0,7	145 $\pm$ 1,0

Os valores de K^+ não variaram estatisticamente entre as diferentes FiO_2 e entre o isofluorano e o sevofluorano (Figura 22 e Tabela 18).

Figura 44 - Valores de potássio (K^+) de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ erro padrão.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 36 - Valores de sódio de pinguins-de-Magalhães submetidos à anestesia inalatória com isofluorano e sevofluorano (1 CAM), diluídos em diferentes frações de oxigênio (1,0, 0,6, 0,4, 0,2). Os valores estão expressos em média $\pm$ desvio padrão.

Halogenados	Frações inspiradas de oxigênio			
	1,0	0,6	0,4	0,2
1 CAM_{ISO}	3,4 $\pm$ 0,2	3,7 $\pm$ 0,5	3,5 $\pm$ 0,3	3,8 $\pm$ 0,8
1 CAM_{SEVO}	3,4 $\pm$ 0,4	3,4 $\pm$ 0,3	3,6 $\pm$ 0,1	3,4 $\pm$ 0,2

DISCUSSÃO

O conhecimento dos valores de CAM e de FiO₂ são ferramentas relevantes na execução de procedimentos anestésicos a base de agentes inalatórios. Apesar da relativa importância, a disposição de tais dados ainda se mostra deficiente para grande maioria das espécies selvagens. Em pinguins-de-Magalhães estudos que tenham como alvo a anestesia inalatória e estas variáveis são bastante escassos. Considerando a parcela de pinguins debilitados que necessitam de anestesia todos anos, e partindo do princípio que anestesia inalatória é mais indicada para aves, pode-se projetar que o conhecimento dos resultados aqui apresentado venham ao encontro a realização de anestésias mais seguras.

Etapa 1 – Determinação da CAM

A determinação da CAM_{ISO} e CAM_{SEVO} em pinguins-de-Magalhães, feitas neste estudo, foram delineadas pelo método *up-and-down*. A escolha por essa metodologia, baseou-se principalmente no benefício de um menor tempo de anestesia, quando comparado ao método *bracketing design* (SONNER, 2002). Esse fator é relevante quando se trabalha com aves silvestres e de difícil acesso, uma vez que com a redução do tempo de anestesia, também reduz-se os riscos resultantes desse procedimento (SONNER, 2002; ROCHA; ESCOBAR, 2015). A exemplo disso, a escolha por essa metodologia também foi utilizada em outro estudo destinado a determinação da CAM em Papagaio-de-bico-grosso (MERCADO et al., 2008).

Os valores de CAM para ambos os halogenados foram determinados por média aritmética e regressão logística a partir de quatro *crossovers*. Apesar do número reduzido de *crossovers*, há relato de que valores de CAM obtidos a partir de quatro *crossovers* são praticamente iguais aos obtidos com um número superior a este (PAUL; FISHER, 2001). Diante deste contexto e buscando minimizar a exposição destas aves ao risco anestésico, optou-se por trabalhar com a obtenção de quatro *crossovers*. Apesar disso, Paul e Fisher (2001) alertam para a possibilidade de erro desta metodologia e afirmam que a escolha por seis *crossovers* pode reduzir esse risco.

No que se refere aos resultados obtidos pela média aritmética e pela regressão logística, ambos os métodos fornecem resultados similares para determinação da CAM (NAGANOBU; HAGIO, 2000; VALVERDE et al., 2003; AGUADO; BENITO; DE SEGURA, 2011; ESCOBAR et al., 2016; MONTEIRO et al., 2016). A principal diferença entre eles consiste no fato de que a média aritmética baseia-se apenas nos resultados dos

animais que compõem os quatro crossovers, enquanto que a regressão logística baseia-se na possibilidade de movimento de toda a população estudada. A exemplo do que foi observado por Valverde et al. (2003), os resultados obtidos nesse estudo pelos dois métodos foram bastante semelhantes.

Para determinação da CAM_{ISO} e CAM_{SEVO} em pinguins-de-Magalhães, o estímulo supramáximo utilizado foi o elétrico, conduzido por agulhas inseridas na região subcutânea, na face medial de um dos membros pélvicos, durante um minuto (ESCOBAR et al., 2012; ESCOBAR et al., 2016) a uma corrente de 30 mA 50 Hz em 6,5 ms. A determinação do estímulo utilizado baseou-se na resposta dos animais e na observação de possíveis lesões (presença de claudicação ou alteração local em até uma semana pós estímulo) em estudos piloto. O posicionamento das agulhas obedeceu uma distância de um centímetro entre elas e as mesmas foram substituídas a cada estímulo, buscando-se evitar lesões, dessensibilização tecidual e oxidação das agulhas (LASTER et al., 1993).

Os valores obtidos para CAM_{ISO} e CAM_{SEVO} nesse estudo, 1,91 V% e 3,53 V% respectivamente, mostram-se dentro da variação máxima conhecida atualmente para outras espécies de aves (LUDDERS; RODE; MITCHELL, 1989; LUDDERS; MITCHELL; RODE, 1990; CURRO; BRUNSON; PAUL-MURPHY, 1994; NAGANOBU; HAGIO, 2000; NICOLAU et al., 2002; MERCADO et al., 2008; KIM et al., 2011; PAVEZ et al., 2011; ESCOBAR et al., 2012; PHAIR et al., 2012; FANG-TSE et al., 2013; ESCOBAR et al., 2016). No que se refere especificamente a pinguins, os valores aqui obtidos para CAM_{ISO} em pinguins-de-Magalhães diferem do intervalo de 2,5 a 3,0 V% sugerido por Bodley e Schmitt (2014) para vaporização deste halogenado na anestesia destes animais, já para CAM_{SEVO} , o valor obtido encontra-se dentro do intervalo de 3,0 a 4,5 V% sugerido. Não foram encontrados valores de CAM para nenhum dos halogenados em outras espécies de aves marinhas.

Destaca-se que a sugestão desses valores se baseiam na experiência dos autores com a prática da anestesia de diferentes espécies de pinguins e não em estudos direcionados para o estabelecimento da CAM. Além disso, faz-se importante frisar que essas diferenças podem aumentar ou diminuir durante a anestesia desses animais, sendo essa variação possivelmente influenciada pela espécie de pinguim a ser anestesiada, a administração ou não de fármacos pré-anestésicos, as condições fisiológicas do animal e em condições clínicas o uso de analgésicos, a intensidade do estímulo algico e a condição

prévia do paciente também podem influenciar nessa diferença (ESCOBAR et al., 2012; ESCOBAR et al., 2016).

Dentre os resultados obtidos durante a monitoração transanestésica dos parâmetros fisiológicos, pode-se observar mínimas diferenças estatísticas entre o isoflurano e o sevoflurano. A F_R , PAS e PAD foram os parâmetros nos quais pode-se constatar essas diferenças. Todavia há que se destacar que durante a etapa 1 desse experimento os pinguins foram expostos a diferentes Fe_{ISO} e Fe_{SEVO} para o estabelecimento da CAM e, desta forma, foram sujeitos a efeitos de comparação pouco sensíveis. Frente a isso, preconizou-se que, mesmo diferentes, esses e os demais parâmetros fossem mantidos dentro do intervalo de normalidade conhecido para pinguins-de-Magalhães e ou para outras espécies de aves, procurando desta forma evitar que essas diferenças pudessem alterar o resultado obtido.

De acordo com essa proposta, uma avaliação comparativa dos parâmetros fisiológicos obtidos (Tabela 2), mostrou que a FC ficou dentro do limite de normalidade estabelecido para pinguins-de-Magalhães (SILVA-FILHO; RUOPPOLO, 2014) e que a F_R mostrou-se efetiva para manutenção dos valores de $ETCO_2$ (30 a 40 mmHg) dentro dos limites aceitáveis para outras espécies de aves (GUIMARÃES et al., 2000; EDLING et al., 2001; ESCOBAR et al., 2012).

No que se refere aos valores de PAS, os mesmos ficaram dentro dos limites propostos para outras espécies de aves, apesar da diferença no modo de aferição utilizado entre os pinguins do presente estudo e as aves dos estudos comparativos (LICHTENBERGER, 2005; ACIERNO et al., 2008; ZEHNDER et al., 2009). Já os valores de PAM e PAD, ficaram abaixo destes limites (LICHTENBERGER, 2005; ACIERNO et al., 2008). As variações constatadas nos valores de PAM e PAD podem estar relacionadas à metodologia de aferição usada nesse estudo, uma vez que o método oscilométrico é citado por alguns autores como pouco preciso para aves (LICHTENBERGER, 2005; ACIERNO et al., 2008; ZEHNDER et al., 2009), sendo isso inclusive uma possível falha do presente estudo. Além disso, há que se considerar que essas diferenças possam ser resultantes de uma variação entre espécies, uma vez que não há registros desses parâmetros para pinguins-de-Magalhães.

A temperatura cloacal foi mantida dentro do limite proposto para realização desse trabalho (38,5 a 39,5 °C) e entre a variação de 37,8 a 40 °C estabelecida como padrão de referência para a espécie (SILVA-FILHO; RUOPPOLO, 2014). O controle e a manutenção da temperatura corpórea é importante, uma vez que a hipotermia resulta em

aumento da solubilidade dos anestésicos inalatórios no sangue, traduzindo-se em valores de CAM falsamente aumentados (LUDDERS; MATTHEWS, 2013). Em casos nos quais a hipotermia se fez presente, optou-se pela utilização de mantas aluminizadas e fluxo de ar quente, para correção da temperatura cloacal (CARREGARO et al., 2008). Após a devida correção da hipotermia, a fração expirada do halogenado era novamente equilibrada, seguindo-se a aplicação do estímulo após o período de estabilização.

Durante o processo de estabelecimento de ambos os valores da CAM, os pinguins foram mantidos sob ventilação controlada, para que os níveis de ETCO_2 fossem mantidos entre 30 e 40 mmHg. A escolha por essa modalidade é importante, uma vez que a depressão respiratória causada pelos agentes inalatórios em aves pode levar a um aumento da PaCO_2 e ou a apneia (LUDDERS; RODE; MITCHELL, 1989; LUDDERS; MITCHELL; RODE, 1990; ESCOBAR et al., 2009; ESCOBAR et al., 2011; CHEMONGES, 2012), interferindo no valor da CAM a ser obtido. Apesar do benefício, a ventilação controlada pode desencadear efeitos hemodinâmicos negativos, resultantes da diminuição do retorno venoso, fazendo-se necessário uma monitoração constante dos valores de pressão arterial e ETCO_2 (NAGANOBU; HAGIO, 2000).

A pressão instituída na ventilação controlada é uma variável importante para o sucesso do procedimento. Em aves, os valores utilizados têm variado entre 4 e 10 cmH_2O conforme a espécie (NAGANOBU; HAGIO, 2000; EDLING et al., 2001; CHEMONGES, 2012; ESCOBAR et al., 2012). No presente estudo, os pinguins-de-Magalhães foram ventilados com uma pressão limitada em 10 cmH_2O . A escolha pela limitação da pressão neste valor foi baseada nos achados de literatura em outras espécies de aves e observações durante estudos piloto. Diante dos parâmetros observados durante a realização dos procedimentos (Tabela 2), conclui-se que o valor utilizado foi efetivo na manutenção dos níveis de ETCO_2 preconizados, sem alterações hemodinâmicas.

Ao menos pelo conhecimento do grupo de pesquisa, os valores de CAM_{ISO} , CAM_{SEVO} e o modelo de ventilação controlada utilizada nesse estudo para pinguins-de-Magalhães, consistem nos primeiros relatos para a espécie. Esses resultados apresentam importante relevância no manejo destes animais em regime de reabilitação, uma vez que fornecem aos profissionais envolvidos com esta atividade resultados que permitem a realização de anestésias e ou manobras ventilatórias de forma mais segura.

Etapa 2 – Avaliação das diferentes frações inspiradas de oxigênio (FiO₂)

Estudos relacionados aos efeitos de diferentes frações inspiradas de O₂ em aves, submetidas a anestesia inalatória ou não, são escassos, limitando-se apenas à avaliação de toxicidade (SOMAYAJULU et al., 1978). Além disso, particularidades anatomofisiológicas, como a ausência de alvéolos e uma provável ação aumentada da enzima superóxido dismutase, sugerem uma maior resistência a variações da FiO₂ por parte das aves (SOMAYAJULU et al., 1978; LUDDERS, 1998).

Em pinguins especificamente, estudos relacionados com a prática do mergulho e a afinidade da hemoglobina destes animais ao O₂ sugerem uma maior resistência destes à hipóxia (LENFANT et al., 1969; MEIR; PONGANIS, 2009). No presente estudo, avaliou-se os efeitos da exposição de pinguins-de-Magalhães a diferentes FiO₂ (1,0, 0,6, 0,4 e 0,2) quando anestesiados com isoflurano e sevoflurano. A taxa de vaporização utilizada para ambos os halogenados foi de 1 CAM, previamente estabelecida na etapa anterior. Para avaliação dos animais, foram monitorados parâmetros cardiovasculares, respiratórios, temperatura cloacal e perfil ácido-base.

Os resultados dos parâmetros cardiovasculares obtidos nessa etapa do experimento mostraram certo equilíbrio frente às variações da FiO₂ pois mesmo com as alterações de FC observadas entre as FiO₂ de 1,0 e 0,6 no grupo de pinguins anestesiados com isoflurano e entre as FiO₂ de 0,6 dos animais anestesiados com sevoflurano, os valores mantiveram-se muito próximos à variação de FC estabelecida como referência para pinguins-de-Magalhães por Silva-Filho e Ruoppolo (2014) e observada por Garofalo et al. (2013) em um pinguim-de-Magalhães mantido sob ventilação controlada. Além disso, valores constantes de PAS, PAM e PAD fornecem subsídios que sugerem um bom funcionamento da bomba cardíaca.

Além da constância observada nos valores de PAS, PAM e PAD, os mesmos foram próximos aos obtidos de maneira invasiva em galinhas anestesiadas com 1 CAM de isoflurano e mantidas sob ventilação controlada (NAGANOBU; HAGIO, 2000). Em comparação aos valores de PAM obtida por Garofalo et al. (2013) os mesmos também se apresentam similares. A semelhança entre esses valores mostra que os efeitos cardiovasculares do sevoflurano e do isoflurano em pinguins-de-Magalhães expostos a diferentes FiO₂ são similares, uma vez que a comparação entre eles não apresentou diferença estatística.

A exemplo dos resultados do sistema cardiovascular, valores observados na monitoração do sistema respiratório também foram constantes e equilibrados, mostrando

pouca influência dos halogenados e da exposição a diferentes FiO_2 . A F_R , mantida em regime de ventilação controlada, limitada a uma pressão de 10 cm/ H_2O , com uma relação inspiração: expiração de 1:2 e oito movimentos por minuto, foi eficiente na manutenção de valores de $ETCO_2$ e SpO_2 em diferentes FiO_2 . Destaca-se que a escolha pela frequência utilizada, a exemplo de outros trabalhos, baseou-se na manutenção dos valores de $ETCO_2$ dentro do limite previamente estipulado (NAGANOBU; HAGIO, 2000; ESCOBAR et al., 2012; FANG-TSE et al., 2013; ESCOBAR et al., 2016).

A SpO_2 aferida nos pinguins, nesta etapa do experimento, também permaneceu constante nos animais anestesiados com isoflurano e sevoflurano, apesar das variações de FiO_2 as quais as aves foram expostas. A utilização do oxímetro de pulso em aves ainda é controverso, sendo sugerido que a imprecisão do equipamento esteja relacionada às diferenças fotométricas de absorção de luz encontradas na hemoglobina oxigenada e desoxigenada de aves em relação a dos humanos (SCHMITT; GÖBEL; TRAUTVETTER, 1998). Apesar de controverso, os valores obtidos para pinguins nesse estudo apresentaram alta correlação com os resultados de saturação arterial de oxigênio (SaO_2), mostrando uma maior precisão desta monitoração nos animais.

A temperatura cloacal dos pinguins, anestesiados com ambos os halogenados e submetidos a diferentes FiO_2 , manteve-se estável e dentro do limite de normalidade estabelecido para espécie por Silva-Filho e Ruoppolo (2014). Apesar da hipotermia ser relatada como uma das principais intercorrências anestésicas em aves (SINN, 1994), nos pinguins-de-Magalhães anestesiados, pode-se observar uma redução de temperatura cloacal menos acelerada do que a observada em galinhas (CARREGARO et al., 2008). Acredita-se que a disposição das penas, a camada de ar isolante existente entre a superfície corpórea e as penas e circulação periférica contracorrente encontrada nestes animais, possam atenuar em algum grau a perda de calor nestas aves (FOWLER; FOWLER, 2001).

No que se refere aos valores de gases sanguíneos e do perfil ácido-base, não foi observada diferença entre os pinguins anestesiados com isoflurano e sevoflurano expostos a diferentes FiO_2 . Esses resultados, associados aos obtidos com a monitoração cardiorrespiratória e a temperatura cloacal, mostram que os efeitos de ambos os halogenados foram similares nesta espécie de pinguim, uma vez que os animais foram expostos a frações equipotentes dos anestésicos (1 CAM).

Os valores de pH observados durante a exposição dos animais anestesiados com ambos os halogenados a diferentes FiO_2 , permaneceram entre 7,4 e 7,5. Esses resultados

são bastante similares aos obtido por Garofalo et al. (2013). Quando comparado a outras espécies de pinguins, os resultados foram semelhantes aos observados em filhotes de pinguim-de-adélia (*Pygoscelis adeliae*) e superiores aos encontrados em pinguins-rei (*Aptenodytes patagonicus*), pinguins-saltador-da-rocha (*Eudyptes chrysocome*) e pinguins-gentoo (*Pygoscelis papua*) (MURRISH, 1982; MAXIME; HASSANI, 2014).

A diferença de pH observada entre os resultados colhidos no presente estudo e os encontrados por Maxime e Hassani (2014) em pinguins-rei, pinguins-saltador-da-rocha e pinguins-gentoo pode ser explicada pela diferença de metodologia entre os estudos uma vez que, no trabalho citado, as amostras foram coletadas com os animais sob contenção física, podendo esta ter elevado a produção de lactato e resultado em posterior acidose segundo os autores. Além disso, a diferença entre espécies é outra variável a ser considerada. Apesar dessas diferenças, os resultados aqui obtidos assemelham-se ao padrão de normalidade de pH para maioria das espécies de aves, o qual é próximo a 7,5 (MONTESINOS; ARDIACA, 2013).

No que se refere aos valores de PaCO_2 , uma discreta hipercapnia inicial pode ser observada, ao se considerar a faixa de 30 a 40 mmHg previamente estabelecida como limite nesse estudo. Essa alteração pode ser constatada pela observação destes valores no momento basal (1,0) e pelas diferenças estatísticas constatadas em relação a este nos pinguins anestesiados com isoflurano e sevoflurano. Além disso, um aumento discreto e concomitante do HCO_3^- no mesmo momento (inicial 1,0), sugere um indício de resposta tamponante a essa hipercapnia. Resposta similar já foi observada por Carregaro et al. (2015) em pombos (*Columba livia*) com hipercapnia anestesiados com isoflurano. Apesar das alterações citadas, não houve qualquer mudança no valor de pH e isso se deve à baixa intensidade da hipercapnia observada.

Diante da constatação de hipercapnia no momento basal, seguida de posterior normalização dos níveis de PaCO_2 , acredita-se que o procedimento de indução em máscara possa ser o responsável por essa alteração. Em pombos, sugere-se que a indução anestésica por máscara possa induzir os animais a momentos de apneia transitória com resultante hipercapnia (CARREGARO et al., 2015). Frente a essa possibilidade, sugere-se como ferramenta de redução do estresse e episódios de apneia, o uso de medicações pré-anestésicas em aves em situação de rotina.

A PaO_2 encontrada nos pinguins-de-Magalhães nessa etapa do estudo, com exceção de alguns animais expostos a FiO_2 de 0,2, apresentou-se dentro dos parâmetros de normalidade, sendo observado redução concomitante de acordo com a FiO_2

administrada. Apesar dos baixos valores observados em alguns animais expostos a FiO_2 de 0,2, resultados encontrados em filhotes de pinguim-de-adélia expostos a mesma FiO_2 foram similares aos obtidos nesse estudo (MURRISH, 1982). Diante desses resultados e considerando os valores de SaO_2 obtidos e a provável maior afinidade da hemoglobina destes animais ao oxigênio, pode-se sugerir que a FiO_2 de 0,2, não seja tão danosa a pinguins-de-Magalhães como possivelmente seria para um mamífero nas mesmas condições.

Os resultados de EB observados nesse estudo consistem nos primeiros descritos para espécie *Spheniscus magellanicus*, não sendo encontrado padrões para esse parâmetro nem mesmo em outras espécies de pinguins. Valores encontrados em papagaios verdadeiros (*Amazona aestiva*) não anestesiados, foram inferiores. Todavia, deve-se considerar que as diferenças entre as espécies e a metodologia utilizada nos estudos podem influenciar nesse resultado, não sendo fidedigna essa comparação (PAULA et al., 2008). O EB é um importante parâmetro na determinação de quadros de acidose ou alcalose metabólica, permitindo a avaliação da influência de componentes não carbônicos no equilíbrio ácido-base (RUSSELL; HANSEN; STEVENS, 1996; STEINMETZ et al., 2007). Diante deste conceito e em busca de padrões para a espécie, sugere-se que os valores apresentados nesse estudo sejam usados como referência, ao menos para pinguins-de-Magalhães.

Os valores de HCO_3^- obtidos no presente estudo mostraram um discreto aumento no momento inicial (1,0) reflexo a variação PaCO_2 observada naquele momento. Padrão de resposta semelhante foi observado em pombos e carcarás com aumento da concentração de CO_2 (ESCOBAR et al., 2009; ESCOBAR et al., 2011; CARREGARO et al., 2015). Os resultados encontrados mostram-se similares aos observados em galinhas, cacatuas e filhotes de pinguim-de-adélia (MURRISH, 1982; STEINMETZ et al., 2007; CHEMONGES, 2012).

O TCO_2 representa a soma dos valores de HCO_3^- e CO_2 dissolvido no sangue de aves, e pelo fato da parcela representada pelo HCO_3^- ser a maior parte do CO_2 nesta soma, os resultados possuem uma tendência a seguirem as oscilações de HCO_3^- , podendo inclusive serem usados como indicadores metabólicos do estado ácido-base do paciente (CHEMONGES, 2012; MONTESINOS; ARDIACA, 2013). Nos pinguins-de-Magalhães avaliados nesse experimento, essa tendência mostrou-se verdadeira e semelhante à observada em pinguim-rei, pinguim-saltador-da-rocha e pinguim-gentoo (MAXIME; HASSANI, 2014).

Os valores obtidos para a SaO_2 foram satisfatórios durante todo procedimento, independente da influência dos halogenados, sendo constatado apenas uma discreta redução nos pinguins expostos a FiO_2 de 0,2. Esse padrão de resposta, avaliado de forma isolada, não permite a princípio afirmar que os pinguins-de-Magalhães tenham afinidade diferenciada da hemoglobina em relação ao O_2 . No entanto quando associado a esses resultados, os valores de pressão venosa de oxigênio (PvO_2) e saturação venosa de oxigênio (SvO_2) de pinguins-de-Magalhães obtidos por Araujo et al. (2016) essa possibilidade mostra-se viável.

Essa associação mostra através de valores elevados de SaO_2 obtidos no presente estudo, com os valores PvO_2 e SvO_2 também elevados, uma carga venosa residual de O_2 significativa. Esse volume residual fica ainda mais aparente ao comparar-se os resultados observados por Araujo et al. (2016) de PvO_2 em pinguins-de-Magalhães (61,7 mmHg) com os observados em espécies como a rola-carpideira (*Zenaida macroura*) (49 mmHg), a iraquina-dos-paúis (*Quiscalus major*) (47 mmHg) e o pardal (*Passer domesticus*) (40 mmHg) (HARMS; HARMS, 2012). Diante desse contexto, pode-se afirmar que os pinguins-de-Magalhães possivelmente apresentem uma hemoglobina com maior afinidade ao O_2 . Essa característica pode ser importante na vida destes animais, uma vez que, contribui de forma relevante para sucesso do mergulho.

Os valores de Na^+ encontrados no presente estudo, apesar de similar aos observados em algumas espécies de aves, não servem como parâmetro de avaliação para a espécie, uma vez que utilizou-se a heparina sódica como anticoagulante na coleta das amostras. Diante desta falha, pode-se sugerir somente que a ausência de oscilações observada nas aves nesta etapa seja um indicativo de equilíbrio na concentração plasmática de sódio de pinguins-de-Magalhães anestesiados com isoflurano e sevoflurano expostos a FiO_2 de 1,0, 0,6, 0,4 e 0,2.

Ao contrário do Na^+ os resultados obtidos de K^+ não foram alterados pelo uso da heparina sódica, mostrando-se inclusive como uma importante fonte de referência para espécie, uma vez que é de desconhecimento do grupo de pesquisa a mensuração deste eletrólito em pinguins-de-Magalhães. Os valores observados são similares aos encontrados em papagaios verdadeiros e pombos (PAULA et al., 2008; CARREGARO et al., 2015). No entanto, quando comparados aos resultados de pinguins-rei, pinguins-saltador-da-rocha e pinguins-gentoo os mesmos são inferiores (MAXIME; HASSANI, 2014). A isso, destaca-se a diferença entre as espécies e entre a metodologia utilizada, pois no trabalho citado as amostras foram colhidas com os animais sob contenção física,

o que pode acarretar em uma coleta complicada com resultante ruptura de hemácias e aumento da concentração de K^+ .

Durante a realização desse trabalho as principais dificuldades encontradas foram a canulação arterial e a padronização de intervalos entre as atividades que compunham as diferentes etapas do projeto. A canulação arterial inicialmente projetada para monitoração da pressão arterial de forma invasiva mostrou-se difícil e demorada, diante disso e pensando no uso dos dados gerados a partir desse experimento em rotina de resgate, o grupo entendeu que a utilização do método oscilométrico se apresentaria eficaz, sendo a punção arterial destinada somente para coleta de material. No que se refere a padronização de intervalos entre as etapas, eventos como a quebra de equipamentos e um surto de malária na coleção de pinguins-de-Magalhães alvo deste estudo dificultaram o estabelecimento deste padrão. Frente a essas dificuldades decidiu-se pelo estabelecimento de um período mínimo padrão de 30 dias, quanto a malária optou-se pela suspensão temporária das atividades até que o surto estivesse controlado e a população estável.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos no presente estudo, é possível concluir que:

A CAM de isoflurano em pinguins-de-Magalhães é de 1,91 V% e de sevoflurano é de 3,53 V%.

Os valores de CAM obtidos para ambos os halogenados são semelhantes quando estabelecidos por média aritmética ou regressão logística.

Pinguins anestesiados com isoflurano e sevoflurano, mantidos sob ventilação controlada e expostos a diferentes FiO_2 não apresentam diferenças fisiológicas entre si.

As FiO_2 de 1,0, 0,6 e 0,4 podem ser usadas com segurança em pinguins-de-Magalhães anestesiados com 1 CAM de isoflurano e sevoflurano e mantidos sob ventilação controlada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIERNO, M. J.; DA CUNHA, A.; SMITH, J.; TULLY, T. N.; GUZMAN, D. S.-M.; SERRA, V.; MITCHELL, M. A. Agreement between direct and indirect blood pressure measurements obtained from anesthetized Hispaniolan Amazon parrots. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 233, n. 10, p. 1587-1590, 2008.

AGOSTINHO, K. F. F.; MARANHO, A. O processo de reabilitação dos pinguins-de-magalhães (*Sphenisciformes magellanicus-foster*, 1981, *Sphenisciformes*, Spheniscidae) no Instituto GREMAR. **CES Revista**, v. 30, n. 1, p. 43-55, 2016.

AGUADO, D.; BENITO, J.; DE SEGURA, I. A. G. Reduction of the minimum alveolar concentration of isoflurane in dogs using a constant rate of infusion of lidocaine–ketamine in combination with either morphine or fentanyl. **The Veterinary Journal**, v. 189, n. 1, p. 63-66, 2011.

ARAUJO, G. S. M.; SILVA, A. N. E.; DUTRA, G. H. P.; CARREGARO, A. B. Perfil ácido-base de pinguins-de-Magalhães (*Spheniscus magellanicus*) submetidos ou não à anestesia com isofluorano. **Anais XII Congresso Brasileiro de Anestesiologia Veterinária**, Curitiba, PR, p. 62, 2016.

ARAÚJO, K. S.; NUNES, T. L.; OLIVEIRA, M. G.; PAIVA, A. L.; OLIVEIRA, M. F.; PAULA, V. V. Uso do propofol na indução anestésica de emas (*Rhea americana americana*). **Pesquisa Veterinaria Brasileira**, v. 33, n. 9, p. 1121-1124, 2013.

BATEMAN, S. W. Making Sense of Blood Gas Results. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 38, n. 3, p. 543-557, 2008.

BLACK, C. P.; TENNEY, S. Oxygen transport during progressive hypoxia in high-altitude and sea-level waterfowl. **Respiration physiology**, v. 39, n. 2, p. 217-239, 1980.

BODLEY, K.; SCHIMITT, T. L. Penguins. In: WEST, G.; HEARD, D.; CAUKETT, N. **Zoo Animal and Wildlife Immobilization and Anesthesia** 2 nd, Iowa, Wiley Blackwell, p.435-443, 2014.

BRADFORD, C.; BRONSON, E.; KINTNER, L.; SCHULTZ, D.; MCDONNELL, J. Diagnosis and attempted surgical repair of hemivertebrae in an African penguin (*Spheniscus demersus*). **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 22, n. 4, p. 331-335, 2008.

CARREGARO, A. B.; CRUZ, F. S. F. D.; GERARDI, P. M.; SCHOLTEN, C. Thermal maintenance in chickens under inhalant anesthesia with isoflurane. **Ciencia Rural**, v. 38, n. 5, p. 1319-1324, 2008.

CARREGARO, A. B.; GEHRCKE, M. I.; MARQUES, J. S.; SILVA, A. N. E.; GOMES, K. T. Lactated Ringer's solution or 0.9% sodium chloride as fluid therapy in pigeons (*Columba livia*) submitted to humerus osteosynthesis. **Pesquisa Veterinaria Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 95-98, 2015.

CHEMONGES, S. Effect of intermittent positive pressure ventilation (IPPV) on acid-base balance and plasma electrolytes during isoflurane anaesthesia in sulphur-crested cockatoos (*Cacatua galerita galerita*). **International Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 4, n. 6, p. 351-357, 2012.

CHEREL, Y.; LELOUP, J.; LE MAHO, Y. Fasting in king penguin. II. Hormonal and metabolic changes during molt. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 254, n. 2, p. R178-R184, 1988.

CRAPO, J. D. Morphologic changes in pulmonary oxygen toxicity. **Annual review of physiology**, v. 48, n. 1, p. 721-731, 1986.

CURRO, T. G.; BRUNSON, D. B.; PAUL-MURPHY, J. Determination of the ED50 of Isoflurane and Evaluation of the Isoflurane-Sparing Effect of Butorphanol in Cockatoos (*Cacatua spp.*). **Veterinary Surgery**, v. 23, n. 5, p. 429-433, 1994.

DAVIS, W. B.; RENNARD, S. I.; BITTERMAN, P. B.; CRYSTAL, R. G. Pulmonary oxygen toxicity: early reversible changes in human alveolar structures induced by hyperoxia. **New England Journal of Medicine**, v. 309, n. 15, p. 878-883, 1983.

DIXON, W. The up-and-down method for small samples. **Journal of the American Statistical Association**, v. 60, n. 312, p. 967-978, 1965.

EDLING, T. M.; DEGERNES, L. A.; FLAMMER, K.; HORNE, W. A. Capnographic monitoring of anesthetized African grey parrots receiving intermittent positive pressure ventilation. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 219, n. 12, p. 1714-1718, 2001.

ESCOBAR, A.; THIESEN, R.; VITALIANO, S. N.; BELMONTE, E. A.; WERTHER, K.; NUNES, N.; VALADÃO, C. A. Some cardiopulmonary effects of sevoflurane in crested caracara (*Caracara plancus*). **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 36, n. 5, p. 436-441, 2009.

ESCOBAR, A.; THIESEN, R.; VITALIANO, S. N.; BELMONTE, E. A.; WERTHER, K.; VALADÃO, C. A. A. Cardiorespiratory Effects of Isoflurane Anesthesia in Crested Caracaras (*Caracara plancus*). **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 42, n. 1, p. 12-17, 2011.

ESCOBAR, A.; VALADÃO, C. A.; BROSNAN, R. J.; DENICOL, A. C.; FLÔRES, F. N.; THIESEN, R.; COELHO, C. M. Effects of butorphanol on the minimum anesthetic concentration for sevoflurane in guineafowl (*Numida meleagris*). **American Journal of Veterinary Research**, v. 73, n. 2, p. 183-188, 2012.

ESCOBAR, A.; DA ROCHA, R. W.; PYPENDOP, B. H.; ZANGIROLAMI FILHO, D.; SOUSA, S. S.; VALADÃO, C. A. A. Effects of Methadone on the Minimum Anesthetic Concentration of Isoflurane, and Its Effects on Heart Rate, Blood Pressure and Ventilation during Isoflurane Anesthesia in Hens (*Gallus gallus domesticus*). **PloS one**, v. 11, n. 3, p. e0152546, 2016.

FANG-TSE, C.; CHANG, G.-R.; HSIEN-CHI, W.; TIEN-HUAN, H. Anesthesia with Isoflurane and Sevoflurane in the Crested Serpent Eagle (*Spilornis cheela hoyi*): Minimum Anesthetic Concentration, Physiological Effects, Hematocrit, Plasma Chemistry and Behavioral Effects. **The Journal of Veterinary Medical Science**, v. 75, n. 12, p. 1591, 2013.

FIELD, C. L.; BEAUFRÈRE, H.; WAKAMATSU, N.; RADEMACHER, N.; MACLEAN, R. Discospondylitis caused by *Staphylococcus aureus* in an African black-footed penguin (*Spheniscus demersus*). **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 26, n. 4, p. 232-238, 2012.

FOWLER, G. S.; FOWLER, M. E. Order Sphenisciformes (Penguins). In: FOWLER, M.; CUBAS, Z. S. **Biology, medicine, and surgery of south american wild animals** 1nd, Iowa State University Press/Ames, p. 53-64, 2001.

GARCÍA-BORBOROGLU, P.; BOERSMA, P. D.; RUOPPOLO, V.; PINHO-DASILVA-FILHO, R.; CORRADO-ADORNES, A.; CONTE-SENA, D.; VELOZO, R.; MYIAJI-KOLESNIKOVAS, C.; DUTRA, G.; MARACINI, P.; CARVALHO-DONASCIMENTO, C.; RAMOS-JÚNIOR, V.; BARBOSA, L.; SERRA, S. Magellanic penguin mortality in 2008 along the SW Atlantic coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 10, p. 1652-1657, 2010.

GAROFALO, N.A.; EVANGELISTA, M. C.; RODRIGUES, J. C.; KLEIN, A. V.; AGUIAR, A. J. A.; LUNA, S. P. L.; TEIXEIRA NETO, F. J. Impacto da ventilação mecânica sobre os valores hemogasométricos arteriais em um pinguim-de-magalhães (*Spheniscus magellanicus*) anestesiado com isofluorano. **Anais XI Encontro de Anestesiologia Veterinária**, Araçatuba, SP, p.72, 2013.

GHEBREMESKEL, K.; WILLIAMS, G.; KEYMER, I.; HORSLEY, D.; GARDNER, D. Plasma chemistry of Rockhopper (*Eudyptes crestatus*), Magellanic (*Spheniscus magellanicus*) and Gentoo (*Pygoscelis papua*) wild penguins in relation to moult. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 92, n. 1, p. 43-47, 1989.

GHEBREMESKEL, K.; WILLIAMS, T.; WILLIAMS, G.; GARDNER, D.; CRAWFORD, M. Dynamics of plasma nutrients and metabolites in moulting macaroni (*Eudyptes chrysolophus*) and gentoo (*Pygoscelis papua*) penguins. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 101, n. 2, p. 301-307, 1992.

GRANONE, T. D.; DE FRANCISCO, O. N.; KILLOS, M. B.; QUANDT, J. E.; MANDSAGER, R. E.; GRAHAM, L. F. Comparison of three different inhalant anesthetic agents (isoflurane, sevoflurane, desflurane) in red-tailed hawks (*Buteo jamaicensis*). **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 39, n. 1, p. 29-37, 2012.

GUIMARÃES, L. D.; MORAES, A. N. D.; CAMPELLO, R. A. V.; OLESKOVICZ, N.; ULLIANA, D. Estudo comparativo entre sevoflurano, halotano e isoflurano em *Gallus domesticus*. **Ciencia Rural**, v. 30, n. 6, p. 999-1004, 2000.

GUNKEL, C.; LAFORTUNE, M. Current Techniques in Avian Anesthesia. **Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine**, v. 14, n. 4, p. 263-276, 2005.

HARMS, C. A.; HARMS, R. V. Venous blood gas and lactate values of mourning doves (*Zenaidura macroura*), boat-tailed grackles (*Quiscalus major*), and house sparrows (*Passer domesticus*) after capture by mist net, banding, and venipuncture. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 43, n. 1, p. 77-84, 2012.

HEARD, D. J. Avian respiratory anatomy and physiology. In: *Seminars in avian and exotic pet medicine*, Elsevier, p. 172-179, 1997.

HIGGINS, J. Pulmonary Oxygen Toxicity. **Physiotherapy**, v. 76, n. 10, p. 588-592, 1990.

IUCN. Lista vermelha da International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Disponível em <http://www.redlist.org>. 2016.

JOYNER, P. H.; JONES, M. P.; WARD, D.; GOMPF, R. E.; ZAGAYA, N.; SLEEMAN, J. M. Induction and recovery characteristics and cardiopulmonary effects of sevoflurane and isoflurane in bald eagles. **American Journal of Veterinary Research**, v. 69, n. 1, p. 13-22, 2008.

KIM, Y. K.; LEE, S. S.; SUH, E. H.; LEE, L.; LEE, H. C.; LEE, H. J.; YEON, S. C. Minimum Anesthetic Concentration and Cardiovascular Dose-Response Relationship of Isoflurane in Cinereous Vultures (*Aegypius monachus*). **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 42, n. 3, p. 499-503, 2011.

KOOYMAN, G. L.; PONGANIS, P. J.; CASTELLINI, M.; PONGANIS, E.; PONGANIS, K.; THORSON, P.; ECKERT, S.; LEMAH, Y. Heart rates and swim speeds of emperor penguins diving under sea ice. **Journal of experimental biology**, v. 165, n. 1, p. 161-180, 1992.

LASTER, M. J.; LIU, J.; EGER, E. I.; TAHERI, S. Electrical Stimulation as a Substitute for the Tail Clamp in the Determination of Minimum Alveolar Concentration. **Anesthesia & Analgesia**, v. 76, n. 6, p. 1310-1312, 1993.

LENFANT, C.; KOOYMAN, G.; ELSNER, R.; DRABEK, C. Respiratory function of blood of the Adelie penguin *Pygoscelis adeliae*. **American Journal of Physiology -- Legacy Content**, v. 216, n. 6, p. 1598-1600, 1969.

LICHTENBERGER, M. Determination of Indirect Blood Pressure in the Companion Bird. **Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine**, v. 14, n. 2, p. 149-152, 2005.

LUDDERS, J.; MITCHELL, G.; RODE, J. Minimal anesthetic concentration and cardiopulmonary dose response of isoflurane in ducks. **Veterinary Surgery**, v. 19, n. 4, p. 304-307, 1990.

LUDDERS, J. W.; RODE, J.; MITCHELL, G. S. Isoflurane anesthesia in sandhill cranes (*Grus canadensis*): minimal anesthetic concentration and cardiopulmonary dose-response during spontaneous and controlled breathing. **Anesthesia & Analgesia**, v. 68, n. 4, p. 511-516, 1989.

LUDDERS, J. W. Minimal Anesthetic Concentration and Cardiopulmonary Dose-Response of Halothane in Ducks. **Veterinary Surgery**, v. 21, n. 4, p. 319-324, 1992.

LUDDERS, J. W.; MATTHEWS, N. S. Aves. In: TRANQUILLI, W. J.; THURMON, J. C.; GRIMM, K.A. **Lumb & Jones: Anestesia e Analgesia Veterinária**, 4 ed. São Paulo: Roca, p.923-942, 2013.

LUDDERS, J. W. Anesthesia and AnalgesiaRespiratory physiology of birds: Considerations for anesthetic management. **Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine**, v. 7, n. 1, p. 3-9, 1998.

MÄDER, A.; SANDER, M.; CASA JR, G. Ciclo sazonal de mortalidade do pinguim-de-magalhães, *Spheniscus magellanicus* influenciado por fatores antrópicos e climáticos na costa do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 18, n. 3, p. 228-233, 2010.

MAXIME, V.; HASSANI, S. Blood oxygen-and carbon dioxide-carrying properties in captive penguins: Effects of moulting and inter-specific comparison. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 168, n., p. 76-81, 2014.

MEIR, J. U.; PONGANIS, P. J. High-affinity hemoglobin and blood oxygen saturation in diving emperor penguins. **Journal of experimental biology**, v. 212, n. 20, p. 3330-3338, 2009.

MERCADO, J. A.; LARSEN, R. S.; WACK, R. F.; PYPENDOP, B. H. Minimum anesthetic concentration of isoflurane in captive thick-billed parrots (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*). **American Journal of Veterinary Research**, v. 69, n. 2, p. 189-194, 2008.

MERKEL, G.; EGER, E. I. A comparative study of halothane and halopropane anesthesia including method for determining equipotency. **Survey of Anesthesiology**, v. 18, n. 6, p. 574-586, 1974.

MONTEIRO, E. R.; COELHO, K.; BRESSAN, T. F.; SIMÕES, C. R.; MONTEIRO, B. S. Effects of acepromazine–morphine and acepromazine–methadone premedication on the minimum alveolar concentration of isoflurane in dogs. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 43, n. 1, p. 27-34, 2016.

MONTESINOS, A.; ARDIACA, M. Acid-base status in the avian patient using a portable point-of-care analyzer. **Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice**, v. 16, n. 1, p. 47-69, 2013.

MURRISH, D. E. Acid-Base Balance in Three Species of Antarctic Penguins Exposed to Thermal Stress. **Physiological Zoology**, v. 55, n. 2, p. 137-143, 1982.

NAGANOBU, K.; HAGIO, M. Dose-related cardiovascular effects of isoflurane in chickens during controlled ventilation. **Journal of Veterinary Medical Science**, v. 62, n. 4, p. 435-437, 2000.

NICOLAU, A. A.; FANTONI, D. T.; AULER, J. O.; AMBRÓSIO, A. Sevoflurane in psittacines (*Amazonas aestiva*): determination of minimal anesthetic concentration to produce general anesthesia. **Ciencia Rural**, v. 32, n. 5, p. 781-786, 2002.

PAUL, M.; FISHER, D. M. Are estimates of MAC reliable? **The Journal of the American Society of Anesthesiologists**, v. 95, n. 6, p. 1362-1370, 2001.

PAULA, V. V.; FANTONI, D. T.; OTSUKI, D. A.; AULER JR, J. O. Blood-gas and electrolyte values for Amazon parrots (*Amazona aestiva*). **Pesquisa Veterinaria Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 108-112, 2008.

PAVEZ, J. C.; HAWKINS, M. G.; PASCOE, P. J.; KNYCH, H. K. D.; KASS, P. H. Effect of fentanyl target-controlled infusions on isoflurane minimum anaesthetic concentration and cardiovascular function in red-tailed hawks (*Buteo jamaicensis*). **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 38, n. 4, p. 344-351, 2011.

PEREIRA, D. M.; SILVA, L.; SILVA, B. A. K. D.; AYDOS, R. D.; CARVALHO, P. D. T. C. D.; ODASHIRO, A.; OLIVEIRA, L. V. F. D. Efeitos da alta concentração de oxigênio (hiperóxia) por tempo prolongado no tecido pulmonar de ratos Wistar. **Revista Biociências**, v. 14, n. 2, p. 110-116, 2008.

PHAIR, K. A.; LARSEN, R. S.; WACK, R. F.; SHILO-BENJAMINI, Y.; PYPENDOP, B. H. Determination of the minimum anesthetic concentration of sevoflurane in thick-billed parrots (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*). **American Journal of Veterinary Research**, v. 73, n. 9, p. 1350-1355, 2012.

PONGANIS, P.; STOCKARD, T.; MEIR, J.; WILLIAMS, C.; PONGANIS, K.; HOWARD, R. O₂ store management in diving emperor penguins. **Journal of Experimental Biology**, v. 212, n. 2, p. 217-224, 2009.

QUIROGA, I. C. C.; ZÚÑIGA, E. C.; MARTÍNEZ, S. X. Z.; MANTILLA, J. M. Diagnóstico y manejo de la insuficiencia respiratoria aguda. **Neumología y Cirugía de Tórax**, v. 67, n. 1, p. 24-33, 2008.

ROCHA, R. W.; ESCOBAR, A. Anestesia em aves. **Investigação**, v. 14, n. 2, p. 1-9, 2015.

RUSSELL, K. E.; HANSEN, B. D.; STEVENS, J. B. Strong ion difference approach to acid-base imbalances with clinical applications to dogs and cats. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 26, n. 5, p. 1185-1201, 1996.

SICK, H. Ordem Sphenisciformes. In: SICK, H. **Ornitologia Brasileira** 3^a ed., Rio de Janeiro, Nova Fronteira, p.186-188, 1997.

SILVA-FILHO, R. P.; RUOPPOLO, V. Sphenisciformes (Pinguim). In: CUBAS Z.S.; SILVA J.C.; CATÃO-DIAS, J.L. **Tratado de Animais Selvagens: Medicina Veterinária** 2^a ed, São Paulo, Roca, p384-416, 2014.

SCHMITT, P. M.; GÖBEL, T.; TRAUTVETTER, E. Evaluation of Pulse Oximetry as a Monitoring Method in Avian Anesthesia. **Journal of Avian Medicine and Surgery**, v. 12, n. 2, p. 91-99, 1998.

SELLERA, F. P.; SABINO, C. P.; RIBEIRO, M. S.; FERNANDES, L. T.; POGLIANI, F. C.; TEIXEIRA, C. R.; DUTRA, G. H. P.; NASCIMENTO, C. L. Photodynamic therapy for pododermatitis in penguins. **Zoo Biology**, v. 33, n. 4, p. 353-356, 2014.

SINN, L. C. Anesthesiology. In: RITCHIE, B.W.; HARRISON, G.J.; HARRISON, L.R. **Avian Medicine**. Florida, Wingers Publishing Inc, p.589-594, 1994.

SOMAYAJULU, R. S.; MUKHERJEE, S. P.; LYNN, W. S.; BENNETT, P. B. Pulmonary oxygen toxicity in chickens and rabbits. **Undersea Biomedical Research**, v. 5, n. 1, p. 1-8, 1978.

SONNER, J. M. Issues in the design and interpretation of minimum alveolar anesthetic concentration (MAC) studies. **Anesthesia & Analgesia**, v. 95, n. 3, p. 609-614, 2002.

STEINMETZ, H. W.; VOGT, R.; KÄSTNER, S.; RIOND, B.; HATT, J.-M. Evaluation of the i-STAT portable clinical analyzer in chickens (*Gallus gallus*). **Journal of veterinary diagnostic investigation**, v. 19, n. 4, p. 382-388, 2007.

STOCKARD, T. K.; HEIL, J.; MEIR, J. U.; SATO, K.; PONGANIS, K. V.; PONGANIS, P. J. Air sac PO₂ and oxygen depletion during dives of emperor penguins. **The Journal of Experimental Biology**, v. 208, p. 2973-2980, 2005.

STOKES, D. L.; BOERSMA, P. D.; LOPEZ DE CASENAVE, J.; GARCÍA-BORBOROGLU, P. Conservation of migratory Magellanic penguins requires marine zoning. **Biological Conservation**, v. 170, n., p. 151-161, 2014.

STURKIE, P. D. Transporte de los gases sanguíneos. In: _____ **Fisiología Aviar**, 2.ed., Zaragoza, Espanha, Acribia, p. 144-151, 1968.

THIL, M.-A.; GROSCOLAS, R. Field immobilization of King Penguins with tiletamine-zolazepam. **Journal of Field Ornithology**, v. 73, n. 3, p. 308-317, 2002.

VALVERDE, A.; MOREY, T. E.; HERNÁNDEZ, J.; DAVIES, W. Validation of several types of noxious stimuli for use in determining the minimum alveolar concentration for inhalation anesthetics in dogs and rabbits. **American Journal of Veterinary Research**, v. 64, n. 8, p. 957-962, 2003.

ZEHNDER, A. M.; HAWKINS, M. G.; PASCOE, P. J.; KASS, P. H. Evaluation of indirect blood pressure monitoring in awake and anesthetized red-tailed hawks (*Buteo jamaicensis*): effects of cuff size, cuff placement, and monitoring equipment. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 36, n. 5, p. 464-479, 2009.

ZENTENO-SAVIN, T.; LEGER, J. S.; PONGANIS, P. J. Hypoxemic and ischemic tolerance in emperor penguins. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 152, p. 18-23, 2010.

ANEXO 1. Valores obtidos de Fe_{ISO} e Fe_{SEVO} e posteriormente corrigidos de acordo com a fórmula resultante de uma regressão linear, gerada a partir da comparação entre os valores conhecidos e mensurados.

Concentrações de isofluorano e sevofluorano utilizadas para calibração do analisador de gases, previamente a realização dos procedimentos e repetida a cada auto calibração do monitor utilizado.

GASES DE CALIBRAÇÃO			
Halogenados	Concentração dos gases V%		
Isofluorano	0,696	1,386	2,078
Sevofluorano	0,507	1,506	2,930

Fonte: Própria autoria.

Valores da Fe_{ISO} para pinguins-de-Magalhães obtidos e posteriormente corrigidos de acordo com calibração.

Fe_{ISO} inicial e posteriormente corrigida dos animais 1 e 2.

FRAÇÕES EXPIRADAS E CORRIGIDAS - ISOFLUORANO		
Animais	Fe_{ISO} inicial %	Fe_{ISO} corrigida %
Animal 1	1,8	2,10
Animal 2	1,7	2,02

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de isofluorano conhecidas com as mensuradas pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiados com isofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 1,013 * X + 0,3058$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{ISO} inicial e posteriormente corrigida dos animais 3, 4 e 6.

FRAÇÕES EXPIRADAS E CORRIGIDAS - ISOFLUORANO		
Animais	Fe _{ISO} inicial %	Fe _{ISO} corrigida %
Animal 3	1,8	2,13
Animal 4	1,7	2,02
Animal 6	1,7	1,9

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de isofluorano conhecidas com as mensuradas pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiados com isofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 1,063 * X + 0,217$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{ISO} inicial e posteriormente corrigida do animal 5.

FRAÇÃO EXPIRADA E CORRIGIDA - ISOFLUORANO		
Animal	Fe _{ISO} inicial %	Fe _{ISO} corrigida %
Animal 5	1,6	1,8

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre a mensuração das frações expiradas de isofluorano conhecidas com a mensurada pelo analisador de gases em pinguim-de-Magalhães anestesiado com isofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção do respectivo valor foi $y = 1,044 * X + 0,1334$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{ISO} inicial e posteriormente corrigida dos animais 7 e 8.

FRAÇÕES EXPIRADAS E CORRIGIDAS - ISOFLUORANO		
Animais	Fe _{ISO} inicial %	Fe _{ISO} corrigida %
Animal 7	1,6	1,8
Animal 8	1,7	1,92

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de isofluorano conhecidas com as mensuradas pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiados com isofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 1,253 * X + 0,2003$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{ISO} inicial e posteriormente corrigida do animal 9.

FRAÇÃO EXPIRADA E CORRIGIDA - ISOFLUORANO		
Animal	Fe _{ISO} inicial %	Fe _{ISO} corrigida %
Animal 9	1,8	2,03

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre a mensuração das frações expiradas de isofluorano conhecidas com a mensurada pelo analisador de gases em pinguim-de-Magalhães anestesiado com isofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção do respectivo valor foi $y = 1,141 * X - 0,02058$.

Fonte: Própria autoria.

Valores da Fe_{SEVO} para pinguins-de-Magalhães obtidos e posteriormente corrigidos de acordo com calibração.

Fe_{SEVO} inicial e posteriormente corrigida dos animais 1 e 2.

FRAÇÕES EXPIRADAS E CORRIGIDAS - SEVOFLUORANO		
Animais	Fe _{SEVO} inicial %	Fe _{SEVO} corrigida %
Animal 1	3,5	3,83
Animal 2	3,6	3,94

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de sevofluorano conhecidas com as mensuradas pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiados com sevofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 1,05 * X + 0,1072$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{SEVO} inicial e posteriormente corrigida dos animais 3 e 4.

FRAÇÕES EXPIRADAS E CORRIGIDAS - SEVOFLUORANO		
Animais	Fe _{SEVO} inicial %	Fe _{SEVO} corrigida %
Animal 3	3,5	3,72
Animal 4	3,4	3,61

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de sevofluorano conhecidas com as mensuradas pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiados com sevofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 1,092 * X - 0,0993$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{SEVO} inicial e posteriormente corrigida do animal 5.

FRAÇÃO EXPIRADA E CORRIGIDA - SEVOFLUORANO		
Animal	Fe _{SEVO} inicial %	Fe _{SEVO} corrigida %
Animal 5	3,3	3,50

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de sevofluorano conhecidas com a mensurada pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiado com sevofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 0,96^* X + 0,0797$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{SEVO} inicial e posteriormente corrigida dos animais 6 e 7.

FRAÇÕES EXPIRADAS E CORRIGIDAS - SEVOFLUORANO		
Animais	Fe _{SEVO} inicial %	Fe _{SEVO} corrigida %
Animal 6	3,4	3,40
Animal 7	3,3	3,30

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de sevofluorano conhecidas com as mensuradas pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiados com sevofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 1,012 \cdot X - 0,03927$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{SEVO} inicial e posteriormente corrigida do animal 8.

FRAÇÃO EXPIRADA E CORRIGIDA - SEVOFLUORANO		
Animal	Fe _{SEVO} inicial %	Fe _{SEVO} corrigida %
Animal 8	3,2	3,19

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de sevofluorano conhecidas com a mensurada pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiado com sevofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 1,01 \cdot X - 0,002112$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{SEVO} inicial e posteriormente corrigida do animal 9.

FRAÇÃO EXPIRADA E CORRIGIDA - SEVOFLUORANO		
Animal	Fe _{SEVO} inicial %	Fe _{SEVO} corrigida %
Animal 9	3,1	3,25

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de sevofluorano conhecidas com a mensurada pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiado com sevofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 1,003 * X - 0,1425$.

Fonte: Própria autoria.

Fe_{SEVO} inicial e posteriormente corrigida dos animais 10, 11, 12 e 13.

FRAÇÕES EXPIRADAS E CORRIGIDAS - SEVOFLUORANO		
Animais	Fe _{SEVO} inicial %	Fe _{SEVO} corrigida %
Animal 10	3,2	3,35
Animal 11	3,1	3,25
Animal 12	3	3,15
Animal 13	2,9	2,95

Fonte: Própria autoria.

Relação linear entre as mensurações das frações expiradas de sevofluorano conhecidas com as mensuradas pelo analisador de gases em pinguins-de-Magalhães anestesiados com sevofluorano. A equação de regressão resultante e utilizada na correção dos respectivos valores foi $y = 1,003 * X + 0,04217$.

Fonte: Própria autoria.