



JULIAN STOCKER

**O IMPACTO DA CONTAMINAÇÃO AEROPORTUÁRIA EM AVES DE
RAPINA**

CANOAS, 2019

JULIAN STOCKER

**O IMPACTO DA CONTAMINAÇÃO AEROPORTUÁRIA EM AVES DE
RAPINA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Avaliação de Impactos Ambientais da Universidade La Salle como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre.

Orientação: Prof^a. D^{ra}. Fernanda Rabaioli da Silva

Co-orientação: Prof^a. D^{ra}. Cristina Vargas Cademartori

CANOAS, 2019

PÁGINA DE DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa a todas as aves, pois foram elas o motivo de ter me tornado biólogo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me proporcionado sempre boas oportunidades na minha vida, as quais não posso de forma alguma reclamar.

À minha família, que mesmo longe sempre me deu total apoio.

À minha namorada Jenifer, por me apoiar e incentivar sempre.

À minha orientadora, Dra. Fernanda Rabaioli da Silva, que só tenho a agradecer pela confiança e oportunidade que me deu. Fez com que eu me sentisse confiante e calmo durante todo o projeto.

À minha coorientadora prof^o Dra. Cristina Cadermatori, por todo o apoio nesse novo desafio e por me orientar desde a graduação sempre muito disposta e atenciosa.

Ao Gustavo Trainini por ceder as aves do plantel da Hayabusa para coleta de material biológico além de ceder as armadilhas para capturas e todo o material necessário.

Aos colegas Micaele Wolfarth, Liana Appel Boufleur Niekraszewicz e Johnny Ferraz Dias por todo trabalho laboratorial e ajuda na produção desta pesquisa.

À veterinária Ana Paula Morel, por me ajudar nas coletas das aves do criatório da Hayabusa e nas capturas durante o projeto de manejo no Aeroporto Salgado Filho de Porto Alegre – RS.

As veterinárias Fabiane Puch e Michele Ataíde, por ajudarem nas coletas das aves na Clínica veterinária Toca dos bichos e Criatório São Bras.

Ao Biólogo Eduardo Polankzick e toda equipe do Zoo Sapucaia pela parceria e pelas aves cedidas para a coleta de material biológico.

Ao criatório São Bras e Clínica Veterinária Toca dos bichos pela parceria e confiança cedendo aves para a coleta de material biológico.

Ao ornitólogo Pedro Scherer-Neto, grande amigo e um grande incentivador para todos que desejam trilhar o caminho das aves.

A PSN A Foundation, onde através desse grupo pude aprender e compartilhar informações importantes sobre a conservação das principais espécies de rapinantes brasileiros.

RESUMO

As emissões de poluentes das atividades aeroportuárias representam uma importante fonte de contaminação ambiental que equivale ao impacto causado por muitas indústrias. Nesses locais há liberação de diferentes gases tóxicos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, nanopartículas, metais, entre outros compostos químicos que acabam contaminando o ar, o solo e a água. Aves de rapina são predadores de topo de cadeia, que podem bioacumular substâncias no organismo e são encontradas em ambientes aeroportuários. As aves são excelentes indicadoras de qualidade ambiental e importantes para o monitoramento de alterações antrópicas devido as suas características comportamentais. Assim, o presente estudo avaliou o potencial mutagênico e as alterações morfológicas em aves de rapina expostas à contaminação ambiental em área aeroportuária, através do teste de Micronúcleos e da medida da simetria bilateral das asas e dos tarsos, respectivamente. Este trabalho foi realizado nas dependências do Aeroporto Internacional Salgado Filho de Porto Alegre – RS e em criadouros particulares e zoológicos. Também foi realizada a quantificação de metais em células sanguíneas das aves coletadas. Um total de 32 indivíduos das espécies *Falco peregrinus* e *Caracara plancus* foram avaliados. As alterações nucleares totais constatadas demonstraram que os organismos expostos à contaminação aeroportuária apresentaram frequência maior de danos quando comparados aos organismos do grupo controle. Porém, esta diferença foi significativa apenas para o grupo dos carcarás. A análise dos elementos inorgânicos nas amostras de sangue dos falcões, realizadas através da análise de PIXE, apresentou concentração elevada de zinco. Nos indivíduos da espécie *C. plancus*, foi quantificado manganês e cromo apenas nos grupo exposto. A medida de simetria bilateral não revelou diferença significativa entre os grupos nas diferentes espécies. Portanto, a frequência alterada de micronúcleos e a presença de metais tóxicos, no sangue das aves amostradas, evidenciou o estresse genotóxico nos indivíduos que vivem em áreas de aviação civil.

Palavras-chave: contaminação ambiental; aeroporto; rapinantes, teste de micronúcleos; assimetria flutuante.

ABSTRACT

Emissions of pollutants from airport activities represent an important environmental contamination source equivalent to the impact caused by many industries. In these places there are different toxic gases, polycyclic aromatic hydrocarbons, nanoparticles, metals, among other chemical compounds that end up contaminating the air, soil and water. Birds of prey are top-chain predators, which have the ability to bioaccumulate substances in the body and are found in airport environments. Thus, the present study aims to evaluate the mutagenic potential and morphological changes in raptors exposed to environmental contamination in an airport area through the Micronucleus test and the bilateral symmetry of the wings and tarsi, respectively. This work will be carried out in Salgado Filho International Airport of Porto Alegre - RS and in private and zoological breeding grounds. Metals analysis was measured in the blood cells of the collected birds. A total of 32 individuals of the species *Falco peregrinus* and *Caracara plancus* were evaluated. The total nuclear alterations observed showed that the organisms exposed to the airport contamination presented a higher frequency of damages when compared to the organisms of the control group. However, this difference was significant only for the caracara group. The inorganic elements analysis in the hawk blood samples, performed through the PIXE, showed concentrations increased of zinc. In the individuals of the *C. plancus* were quantified manganese and chrome only in exposed group. The bilateral symmetry measure revealed no significant difference between the groups in the different species. Therefore, the micronucleus frequency alteration and the presence of toxic metals, in the sampled blood, evidenced genotoxic stress in individuals living in civil aviation areas.

Keywords: environmental contamination; airport; birds of prey; micronucleus test; fluctuating asymmetry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	21
Figura 2.....	25
Figura 3.....	28
Figura 4.....	29
Figura 5.....	30
Figura 6.....	31
Figura 7.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.....	16
Tabela 2.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS

AF - Assimetria Flutuante

Al - Alumínio

Ba - Bário

CBRO - Conselho Brasileiro de Ornitologia

Cd - Cadmio

CEMAVE – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres

Cr - Cromo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cu - Cobre

DDT - Dicloro-Difenil-Tricloroetano

DNA - Ácido Desoxirribonucleico

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EROs - Espécies reativas de oxigênio

Fe - Ferro

HPAs - Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

Mg - Manganês

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MN - Micronúcleo

Ni - Níquel

Pb - Chumbo

PIXE - Técnica indução de raios-X por partículas

SISBio – Sistema de Autorização e Informação em biodiversidade

UFPs - Partículas ultrafinas

VOCs - Compostos orgânicos voláteis

Zn - Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Biologia das aves de rapina	13
1.2 Contaminação aeroportuária.....	16
1.3 Biomonitoramento Ambiental	17
1.4 Avaliação da Genotoxicidade das aves	19
1.5 Análise da assimetria flutuante em aves.....	21
2. ARTIGO	22
2.1 INTRODUÇÃO	22
2.2 Materiais e métodos.....	24
2.2.1 Locais de coleta e amostragem.....	24
2.2.2 Preparo das lâminas e análise de alterações nucleares.....	26
2.2.3 Quantificação de metais pesados.....	26
2.2.4 Estimativa de assimetria flutuante (AF).....	27
2.2.5 Análise estatística.....	27
2.3 RESULTADOS.....	27
2.4 DISCUSSÃO.....	32
2.5 CONCLUSÃO.....	37
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS.....	39
ANEXOS E APÊNDICES.....	46

APRESENTAÇÃO

Os dados obtidos para a produção desta dissertação de mestrado serão apresentados em um item específico, em formato de artigo científico. Após a introdução, encontra-se o Artigo: O Impacto da Contaminação Aeroportuária em Aves de Rapina.

O Aeroporto Internacional Salgado Filho está inserido na região metropolitana de Porto Alegre. Apesar de sua localização, desconhece-se o impacto das emissões de poluentes provenientes das atividades aeroportuárias à fauna, à flora ou à população que vive no entorno deste aeroporto. No artigo ora apresentado realiza-se uma avaliação da toxicidade genética, bem como uma análise de outros parâmetros que possibilitem investigar os impactos causados nessa região através de um organismo sentinela.

As autorizações necessárias à realização deste estudo (SISbio e Comissão de Ética no Uso de Animais - CEUA) estão disponíveis como anexos.

Este projeto foi financiado pelo Conselho Nacional Científico e Tecnológico (CNPq; outorga nº 429839/2018-9) e apoiado pela Universidade La Salle.

1. INTRODUÇÃO

A geração e o destino de diferentes resíduos resultantes das atividades domiciliares e urbanas são alguns dos principais problemas ambientais identificados nos grandes centros urbanos. Esses resíduos, quando não gerenciados tecnicamente, passam a ser uma ameaça à saúde pública e principalmente aos recursos naturais (Salamoni et al., 2009), tornando-se potenciais geradores de impacto ao meio.

Segundo Custódio (1988), o termo “impacto” tem um sentido de “choque” ou “colisão” de substâncias, tanto sólidas, líquidas ou gasosas, de radiações ou de formas diversas de energia, decorrentes da realização de obras ou atividades, com danosa alteração do ambiente natural, artificial, cultural ou social na terminologia do Direito Ambiental. Já a Resolução CONAMA nº 1/1986, em seu Artigo 1º, define impacto ambiental como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais”.

As emissões provenientes das atividades aeroportuárias representam uma importante fonte de contribuição aos impactos ambientais (Santos et al, 2008). A perturbação do meio, observada nas áreas aeroportuárias, equivale-se ao impacto causado por muitas indústrias (Nunes et al., 2011). De forma geral, tal impacto ambiental pode decorrer de operações aeronáuticas que geram poluição sonora e atmosférica, e também em consequência da infraestrutura presente em aeroportos, além de estar relacionado com o abastecimento de aeronaves, área de treinamento contra-incêndio, teste de motores, atividades de veículos em terra, manutenção de aeronaves e incineradores de resíduos sólidos (Souza, 2001).

Em diferentes regiões do país, a paisagem no entorno de áreas aeroportuárias (e mesmo a própria área do aeroporto) é bastante heterogênea, sendo composta, muitas vezes, por fragmentos florestais e áreas úmidas. Esses locais acabam atraindo algumas espécies de aves de rapina que encontram presas, especialmente pequenos mamíferos, com certa facilidade (EIA-CACG, 2014). As aves de rapina são igualmente afetadas pelas emissões, especialmente de poluentes e, em virtude de serem predadores de topo de

cadeia, são sensíveis à contaminação ambiental, configurando-se em organismos sentinelas (Henny et al. 2009).

Organismos sentinelas mostram quali e quantitativamente o impacto da poluição ambiental, sendo, por consequência, importantes para o monitoramento biológico ou biomonitoramento (Oliveira Filho e Sisinnio, 2013). Esse biomonitoramento envolve o uso de parâmetros biológicos para medir a qualidade de um ambiente, que se baseia nas respostas dos organismos às condições do meio onde vivem. Como o ambiente está sujeito a inúmeras perturbações, a biota reage a esses estímulos, sejam essas perturbações de origem natural ou antropogênica (Cairns et al., 1993).

Nas áreas aeroportuárias, as aves de rapina estão expostas a uma mistura complexa de poluentes que envolvem metais, gases poluentes, solventes, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), entre outros. Essa exposição torna ainda mais complexo o biomonitoramento, pois o impacto das misturas não é simples de predizer (Silins e Hogberg, 2011). Neste contexto, o uso de diferentes biomarcadores tem sido a estratégia para avaliar os efeitos e os riscos da exposição combinada (Henny et al. 2009, Oliveira Filho e Sisinnio, 2013).

1.1 Biologia das aves de rapina

As aves de rapina são aves carnívoras, adaptadas para caçar, que possuem garras fortes, bicos afiados e excelente visão e audição (Sick, 1997). Dentro do grupo de aves de rapina está o falcão peregrino, *Falco peregrinus*, que é o animal mais rápido do mundo e que em seu picado pode atingir até 300 km/h para capturar sua presa em pleno ar. A palavra “rapina” tem sua origem no latim e significa “raptar”, referindo-se simplesmente à forma de obtenção do alimento de algumas espécies que têm por hábito pegar suas presas e levar para outro lugar para se alimentar (Ferguson-Lees, 2001). Segundo Menq (2016), as aves de rapina ocorrem em praticamente todos os continentes e nos mais variados habitats, desde as florestas tropicais, savanas até nas montanhas mais elevadas.

O grupo dos rapinantes compartilha muitas características comuns, mas compreende várias linhas evolutivas diferentes. As aves de rapinas são formadas pelas ordens Accipitriformes (águias e gaviões), Falconiformes (falcões e carcarás), Cathartiformes (urubus e condores) e Strigiformes (corujas) (Menq, 2016). Segundo o Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO 2015), existem 99 espécies de aves

de rapina no Brasil, sendo 49 da ordem Accipitriformes, 21 de Falconiformes, 23 Strigiformes e seis Cathartiformes (urubus).

A ordem Falconiformes, representada pela família Falconidae, agrupa as aves de rapina popularmente chamadas de falcões e carcarás. Essas aves possuem formas e hábitos variados, distinguindo-se dos outros rapinantes (águias e gaviões) em vários aspectos (Sick, 1997). Matam suas presas com o bico e não com as garras, possuindo um rebordo em forma de “dente” na mandíbula, usado para seccionar a medula espinhal de suas vítimas. Dentre os gêneros mais numerosos desta ordem, destaca-se *Falco*, composto por espécies de pequeno a médio porte, de asas estreitas e pontiagudas, bico pequeno e tarsos compridos, normalmente especializados na captura de presas ágeis e bastante ativas, como aves e morcegos (Sick, 1997). O falcão-peregrino é um dos mais conhecidos do gênero, popular por seus métodos de caça variados e pelos incríveis vôos picados, considerado pelos estudiosos o mais rápido dos seres vivos. Por outro lado, há falcões mais generalistas e pequenos, como é o caso do quiri-quiri (*Falco sparverius*) (White et al. 2013).

Semelhante a outros vertebrados, a exposição das aves a contaminantes depende das propriedades químicas presentes na composição dos poluentes e também do tipo de habitat, características específicas (ex. idade, sexo, tamanho) e características comportamentais intrínsecas a cada espécie (D'amore et al., 2005). Segundo Smith et al. (2007), as vias de exposição nas aves são quatro: ingestão, inalação, contato dérmico e transferência materna.

A ingestão é a principal via de exposição de contaminantes em aves e pode ocorrer de forma direta, através de produtos químicos livres (por exemplo, ingestão acidental de formulações líquidas após o derramamento ou por envenenamento intencional por humanos), ou, mais comumente, indiretamente, pela ingestão de presas contaminadas (por exemplo, ingestão de presas com acúmulo de contaminantes em seus tecidos) ou água (Sheffield, 2012). A exposição dérmica também é uma importante via de exposição em espécies de aves, ocorrendo pelo contato com contaminantes nos olhos e na pele das patas e pés ou como resultado da transferência de poluentes de fêmeas para os ovos, respectivamente (Koster, 1996; Parsons, 2000; Smith et al., 2007).

A primeira evidência de relações de efeitos dos contaminantes nas populações de aves teve sua origem nos anos 50 e 60, após a Segunda Guerra Mundial, quando os efeitos de inseticidas organoclorados como o DDT foram notados pela primeira vez. O DDT foi

sintetizado como agente de controle da malária e do tifo entre os civis e tropas durante a Segunda Guerra Mundial, mas seu uso foi generalizado para a agricultura em 1945, o que levou a um declínio acentuado das aves de rapina (Peakall et al., 1975).

Um ano após o uso do DDT na agricultura, começaram a aparecer os primeiros declínios das populações de *F. peregrinus*, águia-careca (*Haliaeetus leucocephalus*) e do gavião-europeu (*Accipiter nisus*), fato este notado pelos pesquisadores que trabalhavam com anilhamento e monitoramento das espécies de aves de rapina na América do Norte. Em 1967, Dr. Ratcliffe constatou que o decréscimo do número de indivíduos das populações dessas espécies estava relacionado a falhas na reprodução causadas por um estreitamento da casca do ovo (que subsequentemente levava à quebra de ovos e à morte dos embriões) (Peakall et al, 1975).

O falcão-peregrino foi uma das espécies mais atingidas pelo uso generalizado de DDT nos anos 50 e 60. Pesquisas subsequentes mostraram que o DDT e seus derivados se degradavam muito lentamente no ambiente, acumulando-se nas cadeias alimentares e atingindo níveis altos em predadores de topo, como no caso desta espécie (Cade, 2006).

Em 1962, Rachel Carson escreveu seu livro seminal, *Silent Spring*, que alertou o mundo para os perigos ambientais do DDT. O uso do pesticida (diclorodifeniltricloroetano) foi proibido nos Estados Unidos e outros países. Entretanto, somente em 1970 Ratcliffe percebeu a relação entre as mudanças na espessura da casca do ovo e os níveis residuais de DDT presentes nos ovos de 14 espécies de aves de rapina. Em 1972, quando o DDT foi banido, os falcões-peregrinos já haviam sumido do oeste dos Estados Unidos (Cade, 2006). Pesquisas e trabalhos foram realizados por muito tempo até que as populações das aves de rapina na América do Norte fossem novamente estabilizadas (Carson, 1992).

Os falcões-peregrinos são aves migratórias que migram para a América do Sul de setembro a abril para fugir do inverno norte-americano, retornando para lá para reproduzir. Esta espécie é ornitófaga e alimenta-se principalmente de Columbídeos que permanecem em grandes centros urbanos (Sick, 1997), inclusive em aeroportos.

O grupo das aves de rapina compreende também o carcará, *Caracara plancus*, da ordem dos Falconiformes e família Falconidae, que está presente em quase todos os ambientes (Sick, 1997). Devido ao fato de ser uma ave oportunista/generalista, é comum observar indivíduos forrageando em beira de estradas, lavouras e grandes centros urbanos. É uma ave que se adaptou muito bem às alterações antrópicas e aparentemente

não demonstra sofrer com isso. Também seu sucesso reprodutivo está associado ao fato de se reproduzir antes das demais aves e seus filhotes saírem do ninho com dois ou três meses de antecedência às demais aves, o que possibilita que predem o ninho de outras espécies para se alimentar (Sick, 1997).

1.2 Contaminação aeroportuária

Metais pesados são elementos químicos de ocorrência natural na crosta terrestre e nos solos superficiais sendo encontrados em concentrações variadas (Alloway e Ayres, 1997). Os solos nas áreas urbanas e rurais podem ficar contaminados pelo acúmulo de metais pesados através de processos naturais e / ou práticas humanas que liberam estes elementos em um ritmo muito acelerado representando um risco aos ecossistemas (D'amore et al., 2005). Em ecossistemas terrestres, muitos tipos de interações entre sólidos, líquidos, gases e a biota ocorrem como processos geoquímicos e biológicos (Giannakopoulou et al., 2012) que evoluíram e foram afetados por fatores antropogênicos, como práticas agrícolas, atividades industriais e tratamento de resíduos, por exemplo (Kabata-Pendias, 2001).

Estudos referentes à presença de metais pesados no espaço aeroportuário são escassos. Massas et al. (2016) apresentam os principais metais pesados quantificados em áreas aeroportuárias (Tabela 1).

Tabela 1. Concentrações totais de metais (mg Kg⁻¹) em solos próximos aos aeroportos internacionais.

LOCALIZAÇÃO	Cu	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb	Ba	Fe	Fonte
Aeroporto Shanghai (China)	25	186	-	44	157	81	-	-	Rao et al. (2015)
Aeroporto Pretoria (África do Sul)	98	88.9	1320		820	98.1	-	91.3	Olowoyo et al. (2013)
Aeroporto Delhi (IGI) (Índia)	21	97	391	44.2	127	37.5	-	4.38	Ray et al. (2012)
Aeroporto Queen Alia, (Jordania)	3.0	51.4			16.9	60.2	-	0.05	Al-Khashman & Shawabkeh (2009)
Aeroporto Athens (Grécia)	27	95.2	562.7	92.1	79.8	79	442	22.4	Massas et al. (2016)

Adaptado de Massas et al. (2016).

Outros poluentes atmosféricos encontrados em grandes aeroportos, que acarretam afecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo em concentrações abaixo do

padrão da qualidade do ar, segundo o Ministério do meio Ambiente (MMA), são as emissões de dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e óxido nítrico (NO₂), que têm como fonte a queima de combustíveis fósseis. Segundo Touri (2013), as principais substâncias poluentes nesse ambiente são óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis (VOCs), incluindo hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), SO₂, além de partículas ultrafinas (UFPs).

Alguns estudos têm mostrado que populações que vivem próximo a aeroportos, bem como os próprios trabalhadores, apresentam diminuição da função pulmonar e uma frequência maior de doenças respiratórias (Touri et al., 2013). Marie-Desvergne et al. (2016) relatam que esses trabalhadores são expostos a nanopartículas provenientes da combustão de motor, bem como a metais presentes nas práticas aeronáuticas, como o alumínio, o cromo e o cádmio. O potencial prejudicial das partículas é relacionado à sua capacidade de atravessar o sistema respiratório, depositando-se nas regiões mais profundas e indefesas do pulmão, e levando consigo uma série de compostos tóxicos ao organismo (Buonanno et al., 2012).

Outro problema relevante é a poluição das águas e dos solos que é causada pelo tratamento inadequado de contaminantes provenientes dos aeroportos, como, por exemplo, produtos químicos usados para limpeza de aeronaves, de pátios e de pistas, vazamentos de solventes, combustíveis, óleos e graxas das áreas industriais, além de efluentes líquidos gerados em sua área patrimonial (Bernabei et al., 2006).

1.3 Biomonitoramento ambiental

Desde a antiguidade, as respostas dos organismos vivos a diferentes tipos de estresse têm sido utilizadas para avaliar a qualidade do meio em que vivem. Aristóteles (384-322 a.C.), que é considerado o pai da Biologia, submeteu peixes de água doce à água do mar para estudar suas reações. O primeiro teste de toxicidade com organismos aquáticos do qual se tem notícia foi realizado em 1816, com insetos aquáticos (Buikema e Voshell, 1993).

Segundo De Paula (2010), a bioindicação permite a utilização das respostas de um sistema biológico qualquer a um agente estressor, como forma de se analisar sua ação e planejar formas de controle e monitoramento da recuperação dos parâmetros normais. Os bioindicadores podem ser espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas. Suas

funções vitais se correlacionam tão estreitamente com determinados fatores ambientais, que podem ser empregados como indicadores na avaliação de uma dada área. Os bioindicadores são importantes ferramentas do biomonitoramento, correlacionando um determinado fator antrópico ou um fator natural com um potencial impactante.

Nos últimos anos, o nível de compostos xenobióticos nos diversos ecossistemas vem aumentando de forma alarmante como resultado das atividades antropogênicas sobre o meio ambiente (Oliveira et al., 2004). Tal fato tem contribuído para a redução da qualidade ambiental, comprometendo a saúde dos seres vivos que habitam esses ecossistemas. As aves são eficientes bioindicadores devido a sua dieta alimentar e características comportamentais. O acúmulo de contaminantes pode prejudicar o processo reprodutivo e a sobrevivência das espécies, além de causar efeitos metabólicos. Os pássaros podem concentrar metais pesados adquiridos na alimentação, por exemplo (Oliveira et al., 2004).

Todos os seres vivos necessitam de pequenas quantidades de metais, incluindo cobalto, cobre, manganês, molibdênio, vanádio, estrôncio e zinco, para a realização de funções vitais no organismo. Porém, níveis excessivos desses elementos podem ser extremamente tóxicos. Outros metais pesados como o mercúrio, chumbo e cádmio não possuem nenhuma função dentro dos organismos e a sua acumulação pode provocar graves doenças, sobretudo nos mamíferos. Quando lançados como resíduos industriais na água, no solo ou no ar, esses elementos podem ser absorvidos pelos vegetais e animais das proximidades, provocando graves intoxicações ao longo das cadeias alimentares (Pereira e Ebecken, 2009). Segundo Seebaugh et al. (2005), metais pesados são aqueles cuja densidade relativa apresenta-se maior que quatro, estando relacionados à contaminação e a alto caráter tóxico. Nos últimos anos, efeitos tóxicos de metais pesados em organismos vivos, principalmente como resultado da sua contínua mobilização antropogênica no ambiente, têm atraído considerável atenção mundial (Schmitt-Jansen et al., 2008).

Monitorar a exposição a este conjunto de substâncias químicas é difícil. Assim, o biomonitoramento auxilia no entendimento dos possíveis efeitos destas misturas. O uso de diferentes biomarcadores é uma boa estratégia para monitorar biologicamente um ambiente impactado. De acordo com a finalidade do estudo, poderá ser usado um tipo específico de biomarcador, como, por exemplo, biomarcadores de exposição, que envolvem a avaliação e interpretação de parâmetros biológicos e/ou ambientais, com a

finalidade de detectar os possíveis riscos à saúde. A exposição pode ser avaliada por medida da concentração do agente químico em amostras ambientais ou através da medida de parâmetros biológicos, denominados indicadores biológicos ou biomarcadores (Amorin, 2003). Um biomarcador de efeito é capaz de acusar alterações bioquímicas, fisiológicas ou comportamentais, precoces e reversíveis, que podem ser mensuradas em amostras biológicas e se relacionam com a ação do xenobiótico (Amorin, 2003). Neste trabalho, o biomarcador de exposição foi a dosagem de metais nas amostras de sangue das aves, e os biomarcadores de efeito foram o teste de Micronúcleos e a análise da Assimetria Flutuante.

1.4 Avaliação da genotoxicidade em aves

O estudo da genotoxicidade refere-se à capacidade de uma substância ou mistura induzir dano genotóxico na célula. O dano genotóxico está relacionado ao dano no material genético, que pode ser originado a partir do aumento do estresse oxidativo e/ou de ações diretas e indiretas das substâncias genotóxicas (Cajaraville et al., 2003). Este excesso de dano desencadeia uma instabilidade cromossômica que pode, em longo prazo, aumentar a frequência de câncer nos organismos expostos ou causar efeitos hereditários. Além disso, o *fitness*, as funções fisiológicas, o comportamento, o sucesso reprodutivo e a consequente dinâmica das populações podem, também, ser alterados (Shugart et al., 2003).

Avaliar a toxicidade genética dos organismos expostos à poluição ambiental é uma importante estratégia para conhecer esse dano inicial e, previamente, determinar o risco genotóxico ao qual a população está exposta. Através do teste de micronúcleo se pode detectar efeitos genotóxicos provocados por vários agentes químicos e físicos, o que permite avaliar as condições ambientais. Os micronúcleos são estruturas originárias de fragmentos cromossômicos ou cromossomos inteiros que, durante a anáfase, não migram para os pólos da célula. O teste de micronúcleo tem sido utilizado como uma ferramenta para detectar efeitos genotóxicos de contaminantes ambientais em diferentes animais, incluindo aves (Baesse et al., 2015; Quirós et al., 2008).

Segundo Costa e Silva (2010, p. 169, apud Matter e Schmid, 1971), foi verificada em roedores a correlação entre alterações cromossômicas e o aparecimento de anomalias nucleares (micronúcleos) em eritrócitos jovens, após a expulsão do núcleo. Os autores, utilizando várias doses de Trenimon, concluíram que a incidência dessa anomalia era dose

dependente, e que a sensibilidade para este então chamado “teste do micronúcleo” era similar às tradicionais análises citogenéticas, considerando-o como um teste rápido e simples na detecção de mutagenicidade.

O teste do micronúcleo baseia-se na observação de células que sofrem alterações na distribuição de suas cromátides (efeito sobre o fuso) ou quebra de cromátides. Durante a anáfase, momento em que há a segregação dos cromossomos, os fragmentos provenientes das quebras e de cromossomos inteiros, e que não estão ligados pelo fuso, não acompanham a migração para os pólos da célula. Após a telófase, tais fragmentos cromatídicos não são incluídos nos núcleos das células filhas, formando um único ou múltiplos micronúcleos no citoplasma dessas células (Schmid, 1973). No caso de um efeito no fuso, como, por exemplo, sob a influência de colchicina, há formação de micronúcleos bem maiores do que os que se formam sob a influência de agente clastogênico (Yamamoto e Kikushi, Y., 1980).

Além da análise de micronúcleos, esse ensaio permite a avaliação de outras anormalidades nucleares como núcleo com broto, ponte nucleoplasmática, célula binucleada, núcleo com cauda e fissura nuclear. Estas alterações são apresentadas na Figura 1 e são importantes marcadores para alguns distúrbios nos mecanismos celulares, a exemplo do problema na citocinese, cromossomo dicêntrico, fragmentos acêntricos e amplificação gênica (Fenech et al., 2011).

Alguns estudos avaliando a mutagenicidade em aves já foram feitos, porém ainda são poucos. Trabalhos realizados na América do Norte (México) por Zúñiga-González et al. (2000) apresentam valores basais da frequência de micronúcleo em sangue periférico em vários grupos de animais, incluindo aves, que podem ser utilizados em investigações futuras para detectar poluentes genotóxicos ambientais. Recentemente, estudos realizados por Quero et al. (2016) determinaram a frequência de micronúcleos e outras anormalidades nucleares em eritrócitos de uma comunidade de pássaros selvagens do Deserto Central do Monte, localizado no interior da Argentina, e a sudeste do Atacama, no Chile, para esclarecer se havia diferença entre as espécies de aves. Já no Brasil, Baesse (2015) utilizou este teste para avaliar a mutagenicidade em espécies que utilizam ambientes florestais e seus arredores, e verificar se a frequência de micronúcleos variava entre as espécies. Esse autor salienta que esta técnica é sensível para avaliar o impacto da poluição em aves, além de ser um método não invasivo, que não implica na morte do animal.

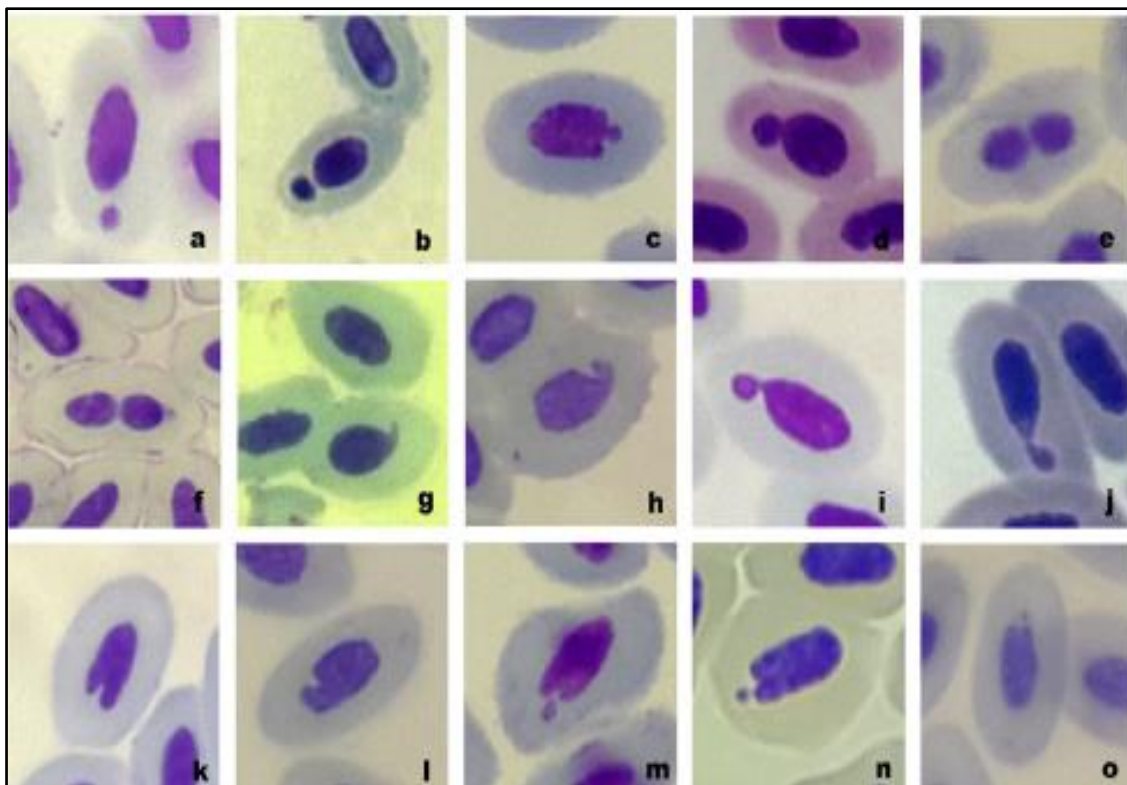


Figura 1: Adaptado de Quero et al. (2016). Alterações nucleares em eritrócitos de aves. a, b Micronúcleo. c, d Broto nuclear. e, f Célula binucleada. g, h Cauda nuclear. i, j Ponte nucleoplasmática. k, l Fissura nuclear. m, n, o Micronúcleo e fissura nuclear na mesma célula.

A maioria dos trabalhos avaliando a mutagenicidade em aves estima a frequência basal de micronúcleos em indivíduos de cativeiro. Zúñiga-González et al. (2000) avaliaram a frequência média de micronúcleos em 30 espécies de aves diferentes de criadouros particulares e zoológicos. Para os gêneros *Falco* e *Buteo* foram encontrados 0,14 e 0,02 micronúcleos para cada 1000 eritrócitos, respectivamente. Em outro trabalho similar, os mesmos autores não encontraram micronúcleos nos indivíduos de *Buteo albicaudatus*, mas encontraram a taxa de 0,05 eritrócitos micronucleados em *Polyborus plancus* (Zúñiga-González et al., 2000).

1.5 Análise da assimetria flutuante em aves

As alterações provocadas no meio ambiente são causadoras de grandes mudanças na estrutura e composição das florestas, o que reflete diretamente na fauna dependente desta vegetação para explorar seus recursos alimentares (Oliveira-Filho et al., 2001). As aves são excelentes indicadores da qualidade ambiental e ferramentas importantes para

compreensão e monitoramento das alterações ambientais (Gonçalves, 2012). Dentre as técnicas de monitoramento, a assimetria flutuante (AF), definida como uma alteração morfológica em caracteres bilaterais causada por estresse genético e/ou ambiental, tem sido utilizada (Palmer e Strobeck, 1986).

A avaliação da simetria bilateral de caracteres como asas ou tarsos, outro biomarcador de efeito, pode ser utilizada para verificar a assimetria flutuante (AF), que é representada por pequenas variações aleatórias na simetria de caracteres bilaterais. Este parâmetro tem sido amplamente usado como indicativo de instabilidade no desenvolvimento de plantas e animais, sendo uma ferramenta importante para a avaliação das respostas biológicas ao estresse ambiental (Mendes, 2014).

A AF é considerada a única forma de assimetria não adaptativa, devido à interação entre a estabilidade do desenvolvimento ou homeostase (controle genético) e a instabilidade do desenvolvimento (distúrbios de origem genética ou ambiental) enfrentada por organismos durante o desenvolvimento dos caracteres (Van Valen, 1962; Moller & Swaddle, 1997; Swaddle, 2003; Ambo-Repel et al., 2008).

Variações biométricas da simetria bilateral perfeita (Palmer e Strobeck, 1986; Simmons et al., 1999; Palmer e Strobeck, 2003; Van Dongen et al., 2006), estresses ambientais ou genéticos são oriundos de ações antropogênicas, podendo ser descritos como um estado que demanda energia para "tamponar" os seus efeitos, e que podem levar à desestabilidade de funções regulares e simétricas dos organismos em populações submetidas a tais ações (Parsons, 1990; Sarre e Dearn, 1991; Swaddle, 2003; Ambo-Repel et al., 2008). As alterações são maiores em aves encontradas em ambientes mais degradados do que em áreas menos degradadas (Lens et al., 1999; Vangestel e Lens, 2011). Portanto, pode fornecer dados importantes em estudos comparativos sobre conservação de populações em ecossistemas naturais e áreas impactadas.

2. ARTIGO¹: O IMPACTO DA CONTAMINAÇÃO AEROPORTUÁRIA EM AVES DE RAPINA

2.1 INTRODUÇÃO

¹ O artigo tem como coautores Fernanda Rabaioli da Silva, Cristina Vargas Cademartori, Micaele Wolfarth, Liana Appel Bouffleur Niekraszewicz e Johnny Ferraz Dias e, será submetido à revista *Ecotoxicology and Environmental Safety*.

O impacto ambiental causado pelas emissões de poluentes em aeroportos pode ser equiparado ao dano gerado em zonas industriais, pois as operações realizadas nesses locais repercutem em grandes áreas (Nunes et al., 2011). Dentro dos sítios aeroportuários, o monóxido de carbono (CO) e o óxido de nitrogênio (NO_x) são os principais poluentes liberados na atmosfera devido ao fluxo de veículos de apoio e de aeronaves a jato (Bernabei et al., 2006). Nesse compartimento ambiental, além de CO e NO_x, são também liberados o dióxido de carbono (CO₂), os componentes orgânicos voláteis (VOCs), incluindo os HPAs, o dióxido de enxofre (SO₂) e as partículas finas (como carbono preto) e ultrafinas (Touri et al., 2013). Outro agravante da poluição aeroportuária é a liberação de metais pesados. Massa et al. (2016) apresentam os principais metais quantificados em amostras de solo de aeroportos internacionais, onde foram observados cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), cromo (Cr), chumbo (Pb), and bário (Ba).

O tráfego aéreo tem aumentado e o efeito dos aerossóis na atmosfera, o que causa preocupação devido à poluição local e risco à saúde dos organismos que vivem próximos a essas áreas. Efeitos adversos à saúde têm sido observados em pessoas que residem nas proximidades dos grandes aeroportos (Touri, 2013) e que trabalham nesses ambientes (Mazaheri et al., 2009). O crescente interesse técnico e científico na ciência de aerossóis foi também estimulado por achados clínicos que relacionam alta concentração de partículas de exposição a efeitos negativos à saúde (Kreyling et al., 2006; Pope e Dockery, 2006).

Nas áreas do entorno e em áreas do próprio aeroporto há fragmentos florestais e áreas úmidas que acabam atraindo algumas espécies de aves de rapina pela disponibilidade presas, especialmente pequenos mamíferos (EIA-CACG, 2014). As aves, particularmente predadores de topo de cadeia, são excelentes bioindicadores ambientais, pois a alta taxa de absorção de substâncias em seu organismo faz delas um eficiente “termômetro” do ambiente em que estão inseridas (Fernández et al., 1995; Spahn e Sherry, 1999; Dauwe et al., 2000; Wayland et al., 2001; Oliveira et al., 2004; Valdes, 2010).

As aves, quando afetadas diretamente com a contaminação ambiental, podem apresentar a espessura da casca dos ovos mais fina, diminuição na quantidade de ovos durante a postura e na taxa de crescimento (Koivula et al., 2011), redução do tamanho das garras, da fertilidade, da massa corporal, aumento da mortalidade de filhotes e retardo na formação das penas (Hofer et al., 2010). Também foi observado um excesso de

formação de radicais livres, que causam efeitos adversos à saúde dos animais (Berglund et al., 2007), resultando em diminuição do sucesso reprodutivo e da sobrevivência (Esselink et al., 1995; Eva e Lehtikoinen, 1996).

Com o intuito de avaliar a contaminação de organismos expostos a contaminantes, algumas técnicas são empregadas, embora algumas sejam mais invasivas (Sutherland et al., 2004), enquanto outras podem fornecer estimativas confiáveis do nível de exposição sem machucar o animal (Valdes, 2010). Entre tantas técnicas, uma das mais usadas é o teste de Micronúcleo, capaz de avaliar a sensibilidade dos organismos a contaminantes. A quantificação de micronúcleos (e de outras alterações nucleares) tem sido considerada uma ferramenta prática para a avaliação e monitoramento de efeitos clastogênicos e aneugênicos causados por poluentes (Nepomuceno et al., 1997; Grisolia, 2002).

Outra forma de avaliar o nível de estresse devido às alterações ambientais é a assimetria flutuante (AF), que consiste em pequenas variações na simetria bilateral (Palmer e Strobeck, 1986; Simmons et al., 1999; Palmer e Strobeck, 2003; Van Dongen et al., 2006). Essa medida tem sido utilizada para analisar, em nível populacional, o grau de estresse genético e/ou ambiental a que os indivíduos estão submetidos (Parsons, 1990; Swaddle, 2003; Ambo-Repel et al., 2008). Portanto, considerando as consequências que a mistura complexa de poluentes pode causar nos organismos vivos, este trabalho buscou avaliar a mutagenicidade e as alterações morfológicas em aves de rapina expostas à contaminação ambiental, bem como dosar os metais em células sanguíneas de duas espécies de aves de rapina, a partir da comparação entre grupo exposto (em área aeroportuária) e grupo controle (em criatório comercial e conservacionista), através de diferentes biomarcadores.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Locais de coleta e amostragem

As aves de rapina que compreenderam o grupo exposto foram capturadas no Aeroporto Internacional Salgado Filho de Porto Alegre – RS, enquanto o grupo controle incluiu aves do Criatório Hayabusa – Consultoria Ambiental Ltda., localizado no município de São Francisco de Paula – RS, criatório Conservacionista Brás de Santa Maria – RS, Clínica Veterinária Toca dos Bichos e Zoológico de Sapucaia – RS. Este trabalho foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade LaSalle

(documento 003/2017) e também pelo SISBio (autorização para atividades com finalidades científicas número 59921-1). As coletas de material biológico aconteceram de maio a dezembro de 2018.

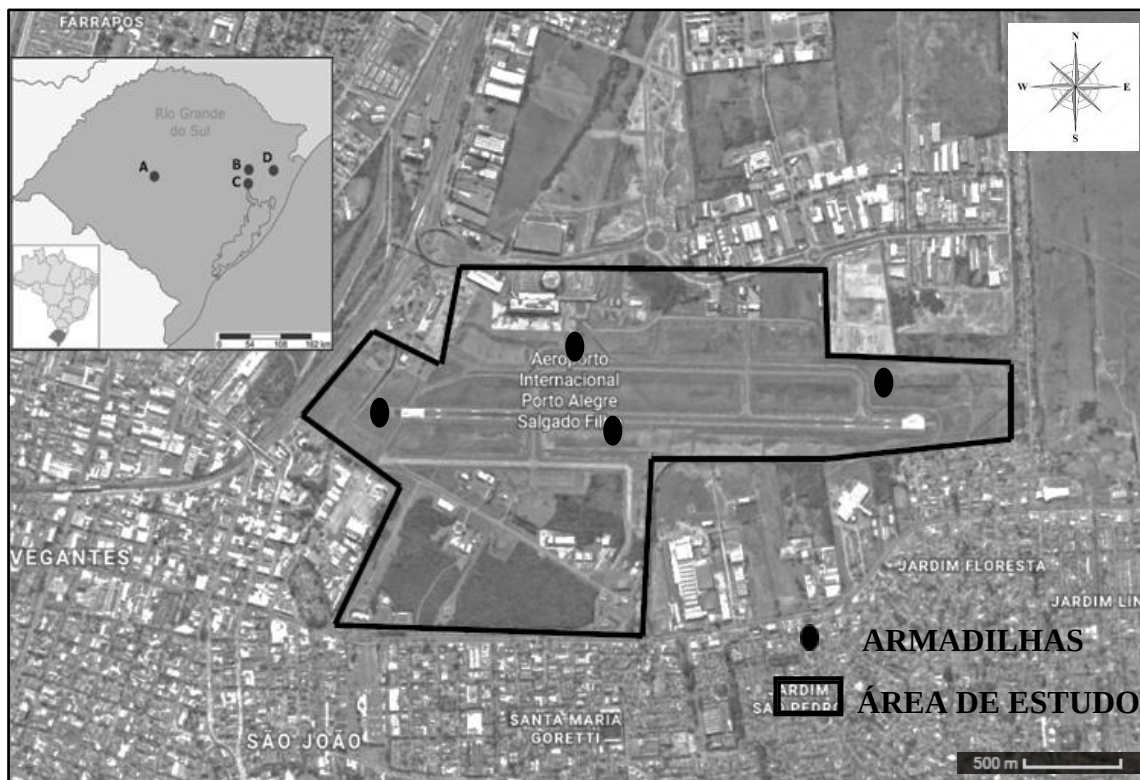


Figura 2. Locais de captura e coleta de material biológico de aves das espécies *Caracara plancus*: A = Criatório São Bras, B = Zoológico de Sapucaia, C = Aeroporto Salgado Filho e Clínica Veterinária Toca dos bichos, D = Criatório da Hayabusa.

Para a realização deste trabalho foram coletadas amostras de sangue periférico de 32 indivíduos de duas espécies de aves de rapina, sendo 15 *Falco peregrinus* (13 do grupo controle e dois do grupo exposto) e 17 *Caracara plancus* (seis do grupo controle e 11 do grupo exposto). O grupo exposto de *F. peregrinus* integrou indivíduos residentes há pelos menos seis meses no Aeroporto Internacional Salgado Filho de Porto Alegre, RS, e o controle, indivíduos do criatório da empresa Hayabusa, em São Francisco de Paula, RS. Já o grupo exposto de *C. plancus* foi constituído por indivíduos capturados dentro do aeroporto, ao passo que o controle foi composto por indivíduos oriundos de criadouros

conservacionistas e zoológicos. Os espécimes foram identificados em relação ao sexo e a idade (juvenil/adulto).

Os carcarás, *C. plancus*, foram capturados dentro da área aeroportuária por meio de armadilhas do tipo *Tomahawk*. As aves capturadas foram marcadas através de anilha do CEMAVE no tarso direito e, logo em seguida, translocadas para o município de Camaquã – RS (130 km da área de captura). As amostras de sangue foram obtidas por punção da veia ulnar na asa dos falcões-peregrinos, *F. peregrinus*, e também dos carcarás, *C. plancus*. As amostras foram colhidas com seringa e agulha num total de 1 ml por ave. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em microtubos, os quais foram imediatamente lacrados e refrigerados a -4° C. Além da refrigeração, as amostras foram protegidas da luz até a realização do PIXE (técnica indução de raios X por partículas) e da dosagem de HPAs. Para o PIXE, as amostras foram armazenadas posteriormente no freezer, a temperatura inferior a -18° C, e para o HPLC, inferior a -80° C.

2.2.2 Preparo das lâminas e análise de alterações nucleares

Para o teste de Micronúcleo, foi realizada a técnica de esfregaço com uma gota de sangue por lâmina, duas lâminas por animal. As lâminas foram fixadas com metanol puro por 5 minutos; posteriormente, estas amostras foram coradas com Giemsa e tampão fosfato (pH 5,8) na proporção de 1:20, durante 7 minutos. Estas lâminas foram analisadas no microscópio óptico, com aumento da objetiva de imersão em 100 X. O número de micronúcleos (MN) e de outras alterações nucleares (broto nuclear, célula binucleada, cauda nuclear, ponte nucleoplasmática e fissura nuclear) foram determinados a partir de mil (1000) eritrócitos por lâmina, de acordo com Quero et al. (2016). Os experimentos e as análises foram realizados no laboratório de Biologia Celular e Molecular da Universidade La Salle.

2.2.3 Quantificação de metais pesados

Para determinação dos metais pesados presentes nas amostras foi realizada a técnica indução de raios X por partículas (PIXE). As amostras de sangue foram secas em estufa, em temperatura de 55 °C, pastilhadas em uma prensa e colocadas em um suporte no interior da câmara de reação do implantador iônico. Durante todo o processo da técnica, a pressão no interior da câmara de reação foi de 10⁻⁵ mbar. Os experimentos

foram realizados no Laboratório do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IF- UFRGS). Acerca de 3 MV tandetron o acelerador forneceu um feixe de prótons 2 MeV com uma corrente média de 5 nA para o alvo. Os raios -X produzidos nas amostras foram detectados por um detector germânio (Ge), com uma resolução de cerca de 180 eV em 5,9 keV com alta eficiência entre 3 e 100 keV. Os espectros foram analisados com o pacote de software GUPIX e os valores foram expressos em parte por milhão (ppm) (Campbell et al., 2000).

2.2.4 Estimativa de assimetria flutuante (AF)

A assimetria flutuante (AF) foi avaliada separadamente para a asa e o tarso de cada indivíduo, segundo cálculos definidos por Palmer e Strobeck (1986), e aplicados por Anciães e Marini (2000): $AF = (D - E) \times (N - 1)$, sendo D a média aritmética das medidas do lado direito, E a média aritmética das medidas do lado esquerdo e N o número de indivíduos da amostra.

2.2.5 Análise estatística

As variáveis de normalidade foram avaliadas usando o teste Kolmogorov-Smirnov. Comparações entre dois grupos amostrais foram realizadas de acordo com a distribuição de dados: para análises não paramétricas utilizou-se o Teste de Mann-Whitney e para paramétricas, o Teste t, comparando-se as médias dos diferentes parâmetros. Valores de $P < 0,05$ foram considerados significativos. O programa GraphPadPrism versão 5.0 (GraphPad, San Diego, EUA) foi utilizado para as diferentes comparações.

2.3. RESULTADOS

Um total de 32 indivíduos foram utilizados como grupo exposto e grupo controle. Para os grupos expostos foram utilizados um total de 13 indivíduos, sendo dois pertencentes à espécie *Falco peregrinus* do plantel da empresa Hayabusa, que ficavam expostos à poluição e ao estresse ambiental no aeroporto Salgado Filho de Porto Alegre – RS, e 11 pertencentes à espécie *Carcara plancus* capturados em armadilhas (Figura 2). As alterações nucleares totais constatadas são apresentadas na Figura 5, demonstrando que os organismos expostos à contaminação aeroportuária apresentaram frequência maior

de danos quando comparados aos organismos do grupo controle. Porém, esta diferença foi significativa apenas para o grupo dos carcarás.

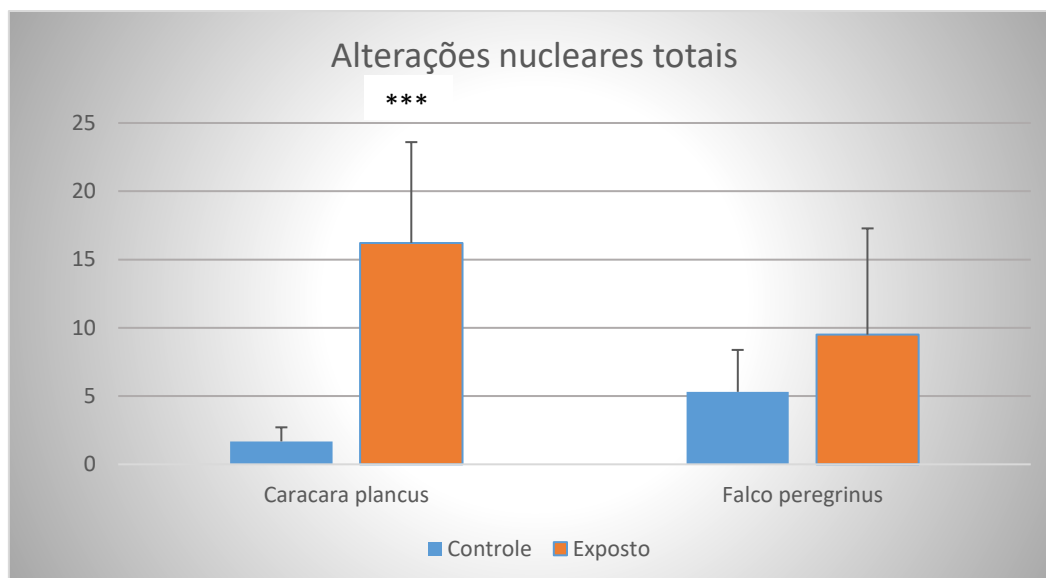


Figura 3: Frequência de alterações nucleares totais em 2000 eritrócitos de rapinantes das espécies *Caracara plancus* e *Falco peregrinus* no aeroporto Salgado Filho, RS, de setembro de 2017 à outubro de 2018.

As alterações nucleares (Tabela 2 e Figura 4), ao serem discriminadas, evidenciam um aumento significativo, no grupo exposto dos carcarás, em todos os tipos de alterações, exceto para eritrócitos com ponte nucleoplasmática. Além disso, embora a frequência de MNs nos falcões expostos tenha sido três vezes maior do que em indivíduos do controle, essa diferença não foi estatisticamente significativa.

Em relação à frequência basal de micronúcleo para as diferentes espécies, foi equivalente a 0,8 em *Falco peregrinus* e a 0,25 eritrócitos para *Caracara plancus*, em 1000 eritrócitos. Quando comparados os valores encontrados para machos e fêmeas, e para juvenis e adultos, considerando cada espécie e grupo, apenas machos e fêmeas de carcarás diferiram entre os grupos. Machos apresentaram uma frequência maior de broto nuclear em relação as fêmeas ($U = 19$; $p = 0,0317$).

Tabela 2: Frequência de alterações nucleares em *Falco peregrinus* e *Caracara plancus* do grupo controle e grupo exposto à contaminação aeroportuária.

<i>Espécie/grupos</i>	<i>N</i>	Tipo de alterações nucleares/ 2000 células por animal - média ± desvio padrão					
		Micronúcleo	Broto nuclear	Binucleada	Fissura nuclear	Cauda nuclear	Ponte nucleoplasmática
<i>Falco peregrinus</i>							
Controle	13	1,62 ± 1,39	2,39 ± 2,10	1,23 ± 1,60	0,23 ± 0,60	0,85 ± 0,90	-
Exposto	2	5,00 ± 1,41	1,00 ± 1,41	3,00 ± 1,41	1,5 ± 2,1	2,00 ± 2,83	0,23 ± 0,44
<i>Caracara plancus</i>							
Controle	6	0,50 ± 0,55	0,67 ± 0,82	0,50 ± 0,84	0,33 ± 0,52	0,17 ± 0,41	-
Exposto	11	4,09 ± 2,55***	5,18 ± 3,43**	3,46 ± 2,38**	3,46 ± 1,92***	3,91 ± 3,83**	0,27 ± 0,47

Valor significativo comparado ao grupo controle da mesma espécie ** ($p \leq 0.01$) e *** ($p \leq 0.001$). Teste t. N = número de indivíduos.

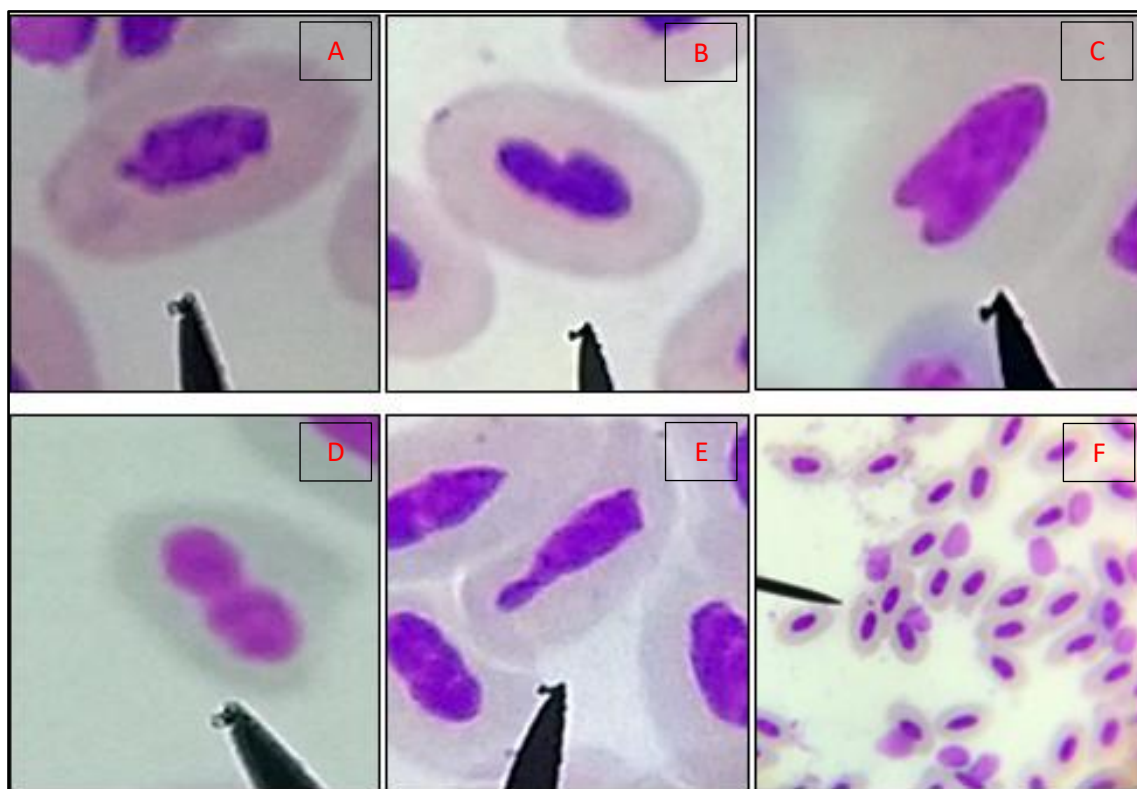


Figura 4: Alterações nucleares em eritrócitos de aves de rapina da espécie *Caracara plancus*: A – broto nuclear, B e C – Fissura nuclear, D – célula binucleada, E – Ponte nucleoplasmática e F – Micronúcleo.

A análise de AF não revelou diferença significativa entre as médias dos seguintes parâmetros de *C. plancus*: asa direita ($t=0.4909$; $gl= 5$; $p=0.6443$), asa esquerda ($t=0.5170$; $gl= 5$; $p=0.6272$), tarso direito ($t=7557$; $gl= 12$; $p=0,4644$), tarso esquerdo ($t=0.6466$; $gl= 13$; $p=0.5292$) (Figura 5).

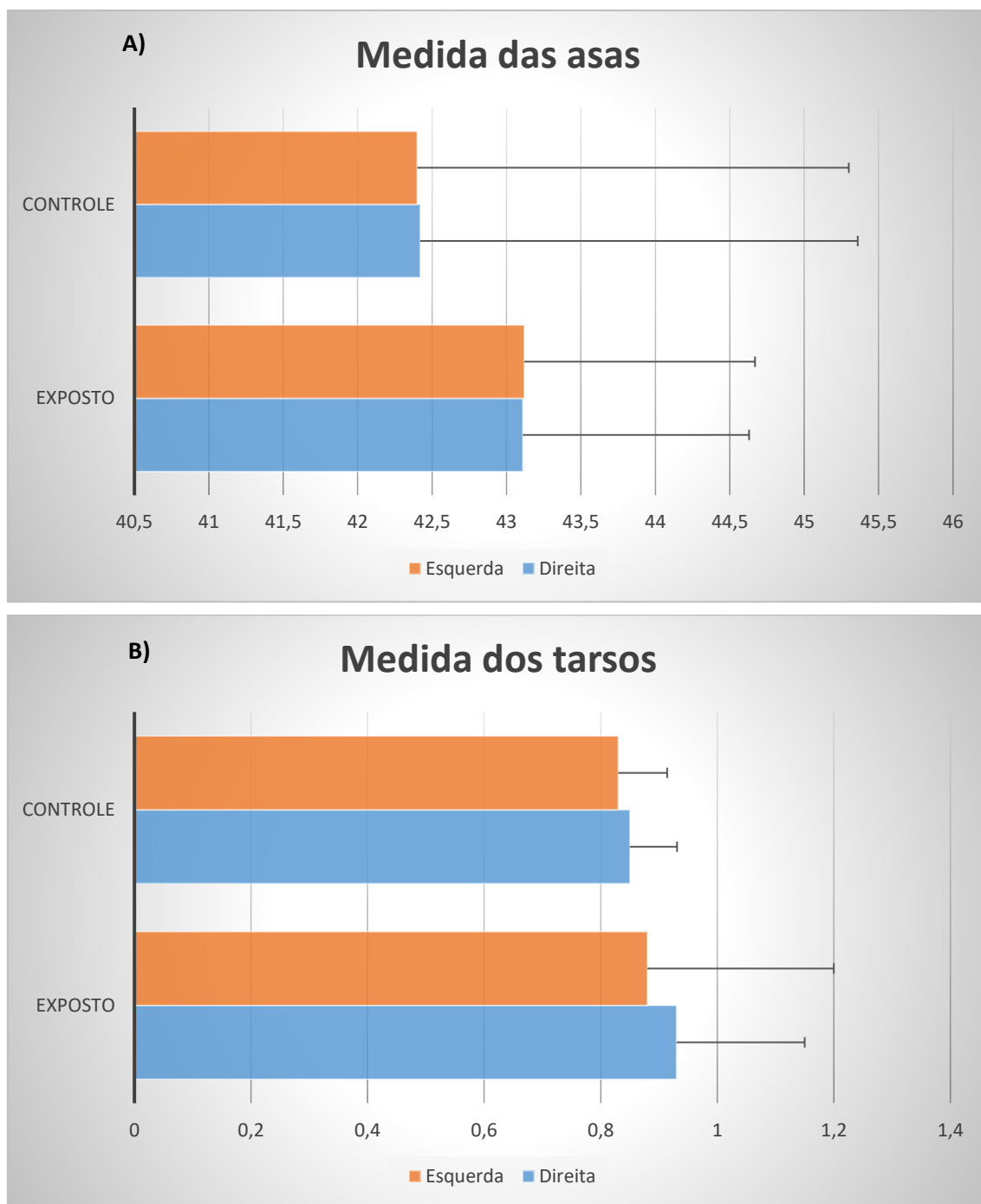


Figura 5. Representação das medidas no teste de Assimetria Flutuante em *Caracara plancus*. A) Medida das asas; B) Medida dos tarsos. Valores em centímetros.

Na Figura 6 são apresentados os resultados referentes à análise dos elementos inorgânicos nas amostras de sangue dos falcões, realizadas através da análise de PIXE. Embora a concentração de metais como alumínio (Al), ferro (Fe) e zinco (Zn) esteja aumentada, apenas a concentração de Zn foi significativamente mais alta no grupo

exposto quando comparada ao grupo controle. O silício (Si) foi detectado apenas nas amostras do grupo exposto.

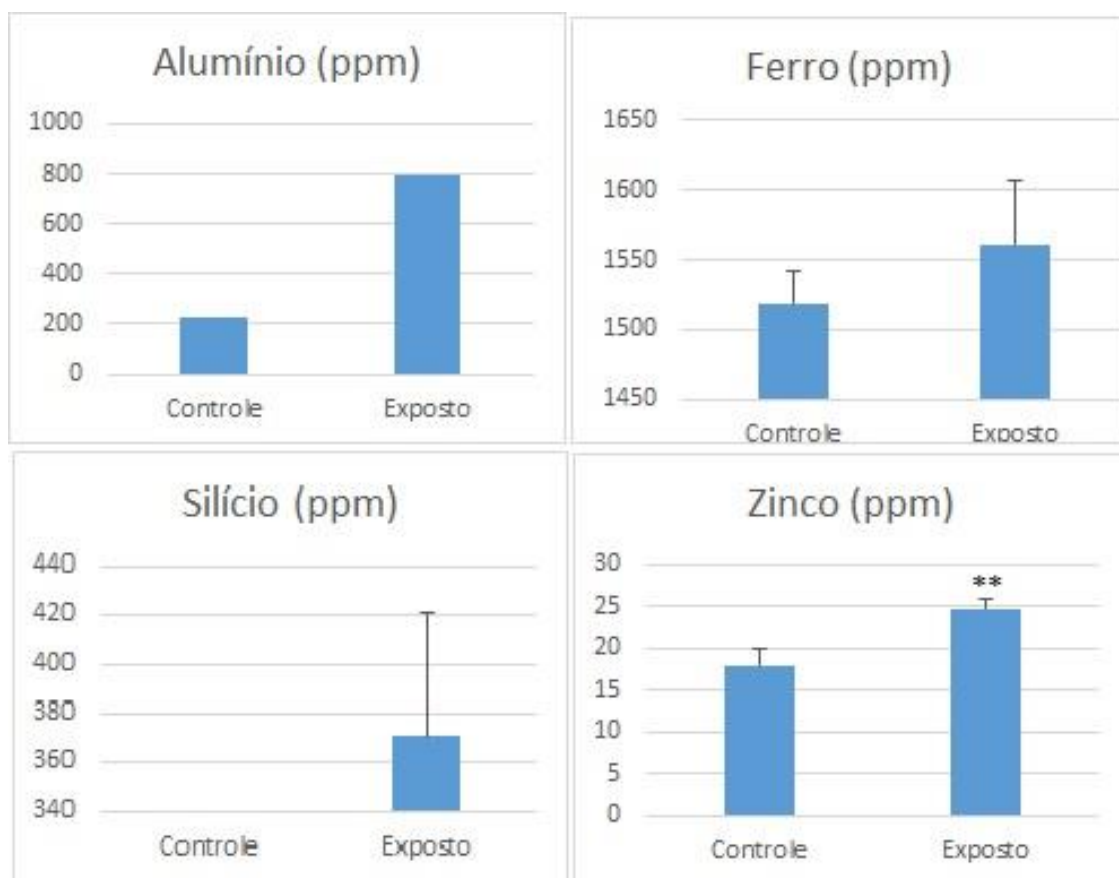


Figura 6: Quantificação de elementos inorgânicos (ppm: parte por milhão) analisados pelo método PIXE em amostras de sangue de indivíduos da espécie *Falco peregrinus* do grupo controle e do grupo exposto à contaminação aeroportuária.

Para os indivíduos da espécie *C. plancus*, a quantificação de elementos inorgânicos é apresentada na Figura 7. Para essa espécie, o Zn foi encontrado em maior concentração no grupo controle, quando comparado ao grupo exposto. O manganês (Mn) e o cromo (Cr) foram detectados apenas no grupo exposto.

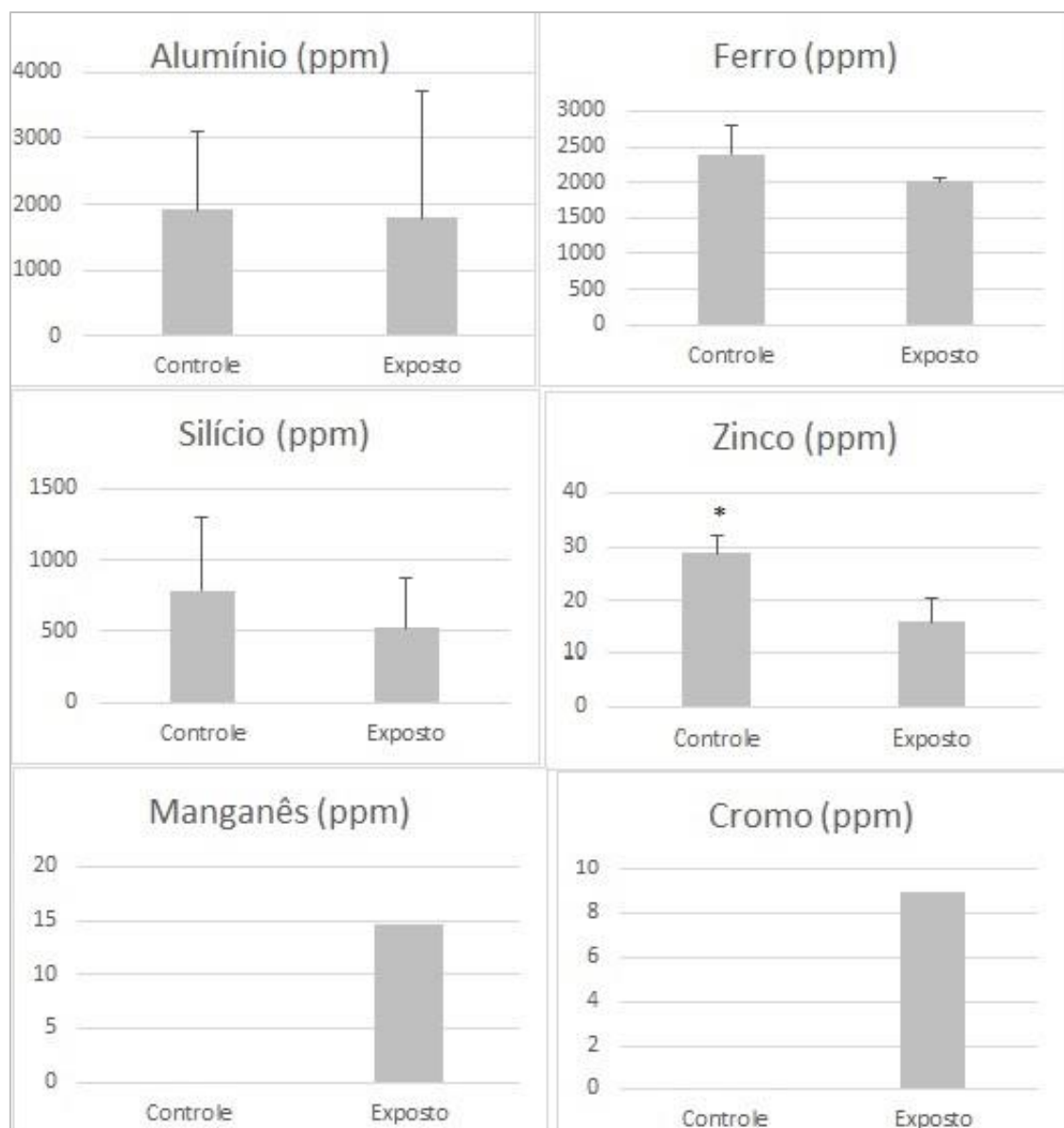


Figura 7: Quantificação de elementos inorgânicos (ppm: parte por milhão) analisados pelo método PIXE em amostras de sangue de indivíduos da espécie *Caracara plancus* do grupo controle e do grupo exposto à contaminação aeroportuária.

2.4. DISCUSSÃO

O impacto ambiental causado pela aviação civil está associado à operação de aeronaves cujos principais problemas são os ruídos, a emissão de gases provenientes da queima de combustível e a descarga de resíduos sólidos e líquidos. Esses espaços apresentam uma mistura complexa de contaminantes, como óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono, monóxido de carbono, VOCs. HPA, dióxido de enxofre, metais pesados e muitas partículas ultrafinas (UFPs) provenientes de diferentes fontes (Touri, 2013).

Apesar disso, a maioria dos programas de manejo em aeroportos têm menos foco nos impactos ao solo e à água subterrânea do que o necessário (Nunes, 2011).

Estudos de biomonitoramento nesses locais são escassos, mesmo sendo o efeito de poluentes em ambientes complexos um tema central na pesquisa ambiental atual. Neste trabalho foi possível verificar, em *Caracara plancus* que viviam no entorno do ambiente aeroportuário de Porto Alegre – RS, uma frequência maior de danos ao DNA quando comparadas às aves do grupo controle. Frequências maiores de micronúcleo, de broto nuclear, de células binucleadas, de fissura e cauda nuclear foram observadas, indicando problemas na citocinese, aumento de amplificação gênica e eventos de clastogênese e aneugênese (Fenech et al., 2011). O aumento nestes biomarcadores de instabilidade cromossômica é preocupante, pois a longo prazo o acúmulo de contaminantes pode prejudicar o processo reprodutivo e a sobrevivência das espécies, além de causar transtornos metabólicos (Bolt, 2011).

Santos (2016) também utilizou esses biomarcadores para avaliar as anormalidades nucleares em eritrócitos de indivíduos de *Ardea cinerea* e *Ciconia ciconia* recuperados para reabilitação. O autor observou que aves do norte apresentaram uma maior frequência de MNs do que as aves do sul, sugerindo, então, que nos locais mais povoados os estressores ambientais estão mais presentes devido às ações antrópicas. Aplicando o teste de MN, Souto et al. (2018) avaliaram o impacto de lavouras de café na região sudeste do Brasil, onde *Volatinia jacarina* foi um sensível organismo biomonitor, demonstrando uma resposta dose-dependente.

A frequência basal de micronúcleo (frequência observada nos indivíduos controle) para as diferentes espécies foi 0,8 em *F. peregrinus* e 0,25 em *C. plancus* a cada 1000 eritrócitos, valores estes superiores ao determinado para outras espécies de aves da família Falconidae (Zuniga-Gonzalez et al., 2001). Os autores encontraram uma frequência de 0,05 MNs a cada 1000 eritrócitos. Contudo, deve-se ponderar o baixo número amostral, de apenas quatro indivíduos no trabalho de Zuniga-Gonzalez et al., (2001).

As duas espécies foram expostas de formas distintas. Enquanto os falcões permaneciam diariamente no Aeroporto Salgado Filho de Porto Alegre, RS, onde eram alimentados somente com codornas (*Coturnix Japonica*) e roedores (*Rattus norvegicus*), os indivíduos da espécie *C. plancus* tinham vida livre, estando expostos à contaminação por diferentes vias. Por isso, talvez, tenham apresentado diferença entre os grupos exposto e controle, embora a frequência de MNs dos falcões expostos tenha sido três vezes maior

do que no controle. Além disso, *C. plancus*, devido ao seu comportamento generalista/oportunista, comparado a *F. peregrinus*, de comportamento mais especialista (Ferguson-Lees, 2001), acaba ficando mais exposto a esses estressores abióticos (por exemplo, químicos). Outro fator limitante, que deve ser levado em conta, foi o baixo número amostral de falcões.

Em relação à frequência basal de dano em aves, alguns autores relataram que a idade e o sexo podem ser fatores que afetam as frequências de micronúcleos (Shepherd e Somers, 2012). Porém, nos carcarás e nos falcões não foram observadas diferenças entre machos e fêmeas para este biomarcador, bem como entre juvenis e adultos. Contudo, houve um aumento de brotos nucleares em machos, quando comparados às fêmeas, no grupo exposto de carcarás. Shepherd e Somers (2012) encontraram, em pombos, um aumento da frequência de MNs em indivíduos mais velhos e uma tendência, em machos, comparativamente às fêmeas.

Nas aves deste estudo, para *C. plancus* não foram observadas diferenças significativas nas medidas de simetria bilateral das asas e dos tarsos. Esse resultado pode ter sido consequência do baixo número de indivíduos amostrados ou devido ao grupo controle compreender apenas aves de criatórios e zoológicos, que estavam em viveiros de voo. Alguns indivíduos estavam com as penas primárias quebradas nas pontas, o que dificultou a realização da morfometria. Ainda que o número amostral tenha sido baixo neste estudo, existe a diferenças morfológicas entre machos e fêmeas, e entre jovens e adultos.

As asas são estruturas mais flexíveis e sofrem um intenso desgaste, devido ao contato com o ar ou, neste caso, com as estruturas do viveiro. O emprego de elementos rígidos, como tarso e estruturas osteológicas, nos estudos de AF, podem reduzir os efeitos do erro de medida e melhorar a replicabilidade dos experimentos, com potencial discussão sobre as alterações e transformações ambientais (Hutchison e Cheverud, 1995; Almeida, 2003). Desta forma, o melhor caráter para a análise da AF seria o tarso, tendo em vista que existe uma diferença morfológica do macho para a fêmea. No entanto, para outras espécies de aves não se deve dispensar o uso das asas, uma vez que existem espécies que apresentam AF somente nas asas, devido a sua importância para as atividades. Além disso, vale ressaltar que medições em asas desgastadas ou em processo de muda devem ser evitadas a fim de evitar erros nas medições (Gonsalvez, 2012).

A AF foi utilizada por outros autores como um bioindicador de efeito, possibilitando ver diferenças no padrão morfológico. Bease (2015) estudou Passeriformes dependentes e semi-dependentes de ambientes florestais na região de Minas Gerais, em quatro diferentes habitats, e constatou que a AF variou de acordo com a guilda alimentar de cada espécie. Indivíduos de comportamento alimentar no sub-bosque apresentaram maiores AF nas asas do que nos tarsos. No entanto, indivíduos de interior de mata apresentaram variações morfológicas tanto para asa quanto para o tarso.

Outro estudo utilizando AF em aves foi realizado por Lens et al.(1999) em três regiões no Quênia. Os indivíduos capturados foram comparados com outros da mesma espécie coletados 40 anos antes, tombados no Museu Nacional do Quênia em Nairobi, constatando clara diferença na biometria tanto do tarso quanto das asas dos indivíduos. Os resultados sugeriram que quanto maior a alteração do ambiente maior o grau de AF. Esse parâmetro também foi avaliado como um biomarcador de estresse à poluição em *Phalacrocorax aristotelis*, observando-se assimetria das asas na presença de poluentes orgânicos persistentes (Jenssen et al., 2010).

Material particulado é gerado em um volume significativo por motores a jato e alguns estudos têm demonstrado que os aeroportos contribuem muito com a poluição atmosférica de grandes áreas do entorno, a qual pode se estender por vários quilômetros (Marie-Desvergne et al., 2016). Na realidade, as operações aeroportuárias geram um impacto potencialmente significativo no ambiente e na saúde das pessoas que vivem ou trabalham nas proximidades em razão das emissões de poluentes atmosféricos (Mazaheri et al., 2009). Nesse ambiente podem ser liberados, por exemplo, o Al, que é o metal mais frequente presente na estrutura da cabine das aeronaves; o Cr, que é um anti-corrosivo constitutivo das tintas, vernizes e selantes; e o Cd, que entra na composição de peças do motor (Marie-Desvergne et al., 2016).

Metais como Al, Cr e Cd são considerados não essenciais e são tóxicos mesmo em baixas concentrações. Já os metais como Cu, Fe, Mn e Zn são essenciais, uma vez que desempenham um papel importante nos sistemas biológicos (Avegliano et al., 2008). Contudo, os metais essenciais também podem produzir efeitos danosos em altas concentrações (Yılmaz et al., 2010). Em relação às aves, concentrações elevadas de metais não essenciais foram correlacionadas ao desgaste da casca do ovo e à falha reprodutiva (Spahn e Seherry, 1999; Burger e Gochfeld, 2000), sendo fatores importantes

na formação de radicais livres, que podem causar estresse oxidativo, inibição no reparo de DNA e consequente aumento na taxa de mutação (Bickham et al., 2000).

O acúmulo de metais tóxicos em um sistema biológico propicia a catálise de reações que culminam na geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), podendo exercer influência sobre os mecanismos de defesa antioxidante. Ainda, o excesso de EROs causa efeitos prejudiciais, tais como a peroxidação dos lipídios de membrana e agressão às proteínas dos tecidos e das membranas, às enzimas, carboidratos e DNA (Barreiros et al., 2006).

No que se refere à quantificação de metais tóxicos, houve aumento significativo de Zn no grupo exposto de *F. peregrinus* e no grupo controle de *C. plancus*. Porém, Mn e Cr foram detectados somente nas amostras dos indivíduos expostos de *C. plancus*. Nas aves, os metais tóxicos ingeridos são absorvidos do trato gastrointestinal para a circulação sanguínea e depois distribuídos para outros órgãos, com eventual excreção ou armazenamento, incluindo as penas (Burguer, 2017).

Massas et al. (2006) observaram um aumento de Zn em amostras de solo coletadas próximo à zona aeroportuária, que não se justifica pela característica geológica da área estudada. O autor atribui o enriquecimento por Zn à carga de tráfego aéreo (decolagens e aterrisagens) próximo ao local de coleta. Além disso, Marie-Desvergne et al. (2016) afirmaram que o ambiente do aeroporto pode induzir uma exposição leve ao Al e ao Cr, quando comparado ao de indústrias. Os autores detectaram Cr na coleta do condensado do ar exalado pulmonar nos trabalhadores deste setor.

O Cr é um elemento que pode existir em seis estados de valência, 0, II, III, IV, V e VI, que representam o número de ligações que um átomo é capaz de fazer. Trivalente (Cr-III) e hexavalente (Cr-VI) são as espécies de cromo mais comuns encontradas no meio ambiente. Trivalente é a forma mais estável e seus compostos são, muitas vezes, insolúveis em água. O cromo hexavalente é a segunda forma mais estável e mais tóxica, sendo muitos de seus compostos solúveis (CEPA, 1994). O cromo-VI tem a capacidade de passar facilmente para as células de um organismo, onde exerce toxicidade através da sua redução para Cr-V, IV e III (CEPA, 1994). A maioria dos Cr-VI no ambiente é proveniente de atividades humanas e existe uma forte relação entre dano ao DNA e cromo de alta valência (Jomova e Valko, 2011).

Concentração elevada de Mn foi encontrada em amostras de sangue de trabalhadores expostos à combustível usado na aviação (Dlugaszek et al., 2007). Os

autores relatam que Mn é um componente e cofator de muitas enzimas importantes, embora a exposição excessiva ao Mn (principalmente pelo trato respiratório) resulte em uma redução de Fe, geração de EROs e estresse oxidativo, crescimento lento e distúrbios neurológicos.

O Mn está envolvido em várias reações bioquímicas e atua como um micronutriente essencial. Origina-se de rochas ígneas, mas as emissões urbanas, incluindo o tráfego e os resíduos de incineração através da combustão contribuem para as cargas de Mn no ambiente (Zayed et al., 1999). Essas altas concentrações de Mn podem ser atribuídas à exposição das aves à poeira contaminada e à ingestão de alimentos contaminados. A queima de combustível fóssil pode ser uma fonte de poluição na área de estudo (Qadir et al., 2008). Resíduos não tratados do tráfego aéreo e outros efluentes industriais na área forrageira podem ser outra possível fonte de Mn. A toxicidade causada pelo Mn pode produzir anemia, micromelia, torção de membros, hemorragia, crescimento atrofiado e transtornos comportamentais (Gibbs et al., 1999; Summers et al., 2011; ATSDR, 2012).

Cabe ressaltar que o aumento na frequência de dano ao DNA não pode ser consequência apenas da exposição ao metais, pois os aeroportos apresentam outros tipos de contaminantes, como efluentes das áreas adjacentes ao aeroporto que escoem para dentro em períodos de chuva, acumulando resíduos inorgânicos na área de drenagem, também usada para forrageio por determinadas espécies de animais.

O presente estudo pode ser considerado como ponto de partida para análises posteriores e visa apontar correlações possíveis entre os níveis de poluentes e o surgimento de possíveis efeitos adversos. Também fornece informações úteis para diagnósticos e para o biomonitoramento de contaminação ambiental local. Muitas espécies frequentam as áreas aeroportuárias regularmente, seja para forrageio ou para reprodução. O acúmulo de contaminantes pode prejudicar o processo reprodutivo e a sobrevivência das espécies, além de causar transtornos metabólicos (Bolt, 2011).

2.5 CONCLUSÃO

O teste do micronúcleo, utilizado nesta pesquisa com *F. peregrinus* e *C. plancus*, mostrou-se um teste útil e prático para o monitoramento da poluição de ambientes aeroportuários. A frequência alterada de micronúcleos, significativamente superior nas

aves do entorno do Aeroporto Salgado Filho de Porto Alegre, RS, evidencia a presença de estresse genotóxico nesses indivíduos.

A Assimetria Flutuante em aves de rapina é um biomarcador de efeito válido pela relativa facilidade de obtenção dos dados. Porém, a dificuldade fica na obtenção de indivíduos de planteis de criadores e zoológicos, que são bem escassos.

A análise de concentrações de metais em aves de rapina do Aeroporto Salgado Filho – RS indicou uma diferença na quantidade de metais em indivíduos expostos e não expostos.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações referentes ao impacto ambiental causado pelos poluentes liberados nas atividades dos aeroportos são escassas. Nesses locais há a liberação de diferentes gases tóxicos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, nanopartículas, metais pesados, entre outros compostos químicos. Alguns estudos envolvendo a avaliação do risco ocupacional em trabalhadores deste setor relatam problemas respiratórios, porém trabalhos com fauna, flora ou população que vivem no entorno de aeroportos são poucos. Aves de rapina são espécies predadoras, topo de cadeia, que apresentam a capacidade de bioacumular substâncias no organismo e são encontradas em ambientes aeroportuários, sendo organismos sentinela em potencial para avaliar a contaminação deste ambiente. Portanto, as características biológicas das aves de rapina podem tornar essas espécies úteis como sentinelas para estudos de biomonitoramento, pois podem atuar como monitores locais adequados de níveis de contaminantes.

REFERÊNCIAS

- ADACHI, S., "Effects of Chromium on the Respiratory System. Part 5. Long Term Inhalation of Chromic Acid Mist in Electroplating by C57BL Female Mice and Recapitulation on our Experimental Studies", *Jpn. J. Ind. Health*, 29:17-33 (1987).
- ADACHI, S., H. YOSHIMURA, H. KATAYAMA, AND K. TAKEMOTO, "Effects of Chromium Compounds on the Respiratory System", *Jpn. J. Ind. Health*, 28: 283-287 (1986).
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE registry (ATSDR). Toxicological Profile for Copper, 2004.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE REGISTRY (ASTDR). Toxicological Profile for Nickel; 2005.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Toxicological Profile for Manganese, 2012. Ayyamperumal, T., Jonathan, M.P., Srinivasalu, S., Armstrong-Alt
- AMBO-REPEL, R.; LAJUS, D. L.; SCHENEIDER, M. J. 2008. Increased heavy metal nutrient contamination does not increase fluctuating asymmetry in the seagrass *Halophia ovalis*. *Ecol. Ind.* 8: 100-103.
- AMORIM, Leiliane Coelho André. Os biomarcadores e sua aplicação na avaliação da exposição aos agentes químicos ambientais. *Rev. bras. epidemiol. [online]*. 2003, vol.6, n.2 [cited 2017-07-17], pp.158-170
- ANCIÃES, M.; M. Â. MARINI. 2000. Fluctuating asymmetry as indicator of fragmentation effects on birds from Brazilian Tropical forests. *Jour. of Appli. Ecol.* 37: 1013-1028.
- ATSDR, 1996, Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Department of Health and Human Services, **Public Health Service**, Atlanta, GA, USA.
- AVEGLIANO, P., and SICHTMAN, J. RePart : a reputation-based simulation tool for partnership formation . In Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing - SAC '08 [online], 23, Fortaleza, Ceara, Brazil, 2008. New York, New York, USA : ACM Press, 2008. p. 46. ISBN 9781595937537.
- BAESSE CQ, TOLENTINO VC, DA SILVA AM, SILVA ADE A, FERREIRA GÂ, PANIAGO LP, NEPOMUCENO JC, DE MELO C. Micronucleus as biomarker of genotoxicity in birds from Brazilian Cerrado. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2015 May;115:223-8.

BAETJER, A.M., J.F. LOWNEY, H. STEFFEE, AND V. BUDACZ, "Effect of Chromium on Incidence of Lung Tumors in Mice and Rats", **Am. Med. Assoc. Arch. Ind. Health**, 20: 42/124-53/135 (1959).

BARTLE, K.D. Analysis and occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in food. In: CREASER, C. & PURCHASE, R. (Eds) Food contaminants: sources and surveillance. Cambridge, **The Royal Society of Chemistry**, cap. 3, p. 41-60, 1991.

BERNABEI, M., VARDÈ, M., CHIAVARINI, S., CREMISINI, C., 2006. PAHs in aircraft emissions: problem or tool?. In: Proceedings of Environmental and Transport e Transport and Air Pollution, **2nd Conference, Reims, June**, pp. 310e315.

BUIKEMA, A. L. & VOSHELL, J. R., 1993. Toxicity studies using freshwater benthic macroinvertebrates. In: Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates (D. M. Rosenberg & V. H. Resh, ed.), pp. 344-398, New York: **Chappman & Hall**.

BUONANNO G, BERNABEI M, AVINO P, STABILE L. Occupational exposure to airborne particles and other pollutants in an aviation base. **Environ Pollut.** 2012 Nov;170:78-87.

BUTTON, K. Transport Economics. 3rd edition, **Massachusetts: Edward Elgar**, 2010. 511 p.

CADE, T.J. 2006. Eastern peregrines revisited. **The Peregrine Fund Newsletter** 37:8-9.

CAIRNS Jr., J.; McCORMICK, P. V. & NIEDERLEHNER, B. R., 1993. A proposal framework for developing indicators of ecosystem health. **Hydrobiologia**, 263:1-44.

CAJARAVILLE, M.P., BEBIANNO, J.M., BLASCO, J., PORTE, C., SARASQUETE, C., VIARENGO, A., 2000. The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: a practical approach. **Sci Total Environ.** 247, 295-311.

CAMPBELL J. L., HOPMAN T. L., MAXWELL J. A., NEJEDLY Z. (2000). Guelph PIXE software package III: alternative proton database Nucl. Instrum. **Methods Phys. Res. B** 170, 193–204.

CARSON, R. 1962. Silent spring. **Houghton Mifflin Company**, Boston, MA U.S.A

CBRO – Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos 2015. **Listas das aves do Brasil**. Versão 13/3/2015.

COSTA E SILVA, Avaliação da frequência de micronúcleos em eritrócitos periféricos de mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*) do rio Paranaíba **Revista do Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Extensão do UNIPAM (ISSN 1806-6399)** Patos de Minas: UNIPAM, n. 7, vol. 1: 167-179, ago. 2010

CUSTÓDIO, HELITA BARREIRA. Avaliação do Impacto Ambiental no Direito Brasileiro. São Paulo, **Revista de Direito Civil**, 1988.

DE PAULA, S. N. C., Biomonitoramento como instrumento de detecção de contaminantes ambientais. **Dissertação – UVA instituto pedagógico de Vitória**. Vitória, 2010.

DOS SANTOS, V.R., CIOTTI, C.S., CAVALCANTI, J., BRANDLI, E.N., FLOSS, M.F. Impacto ambiental na implantação de aeroportos. II Encontro de sustentabilidade em projeto do Vale do Itajaí. 2008.

EIA-CACG, 2014. Estudo de Impacto Ambiental – EIA. COMPANHIA AEROPORTUÁRIA CAMPOS GERAIS CACG.

FENECH M, KIRSCH-VOLDERS M, NATARAJAN AT, SURRALLES J, CROTT JW, PARRY J, NORPPA H, EASTMOND DA, TUCKER JD, THOMAS P. Molecular mechanisms of micronucleus, nucleoplasmic bridge and nuclear bud formation in mammalian and human cells. **Mutagenesis**. 2011 Jan;26 (1):125-32.

GLASER, U., E. HOCHRAINER, H. KLOPPPEL, AND H. OLDIGES, "Carcinogenicity of Sodium Dichromate and Chromium (VI) Oxide Aerosols Inhaled by Male Wistar Rats", **Toxicol.**, 42: 219-232 (1986).

GLASER, U., D. HOCHRAINER, H. KLOPPPEL, AND H. KUHNEN, "Low Level Chromium (VI) Inhalation Effects on Alveolar Macrophages and Immune Function in Wistar Rats", **Arch. Toxicol.**, 57: 250-256(1985).

Henny CJ, Yates MA, Seegar WS (2009) Dramatic declines of DDE and other organochlorines in spring migrant Peregrine Falcons from Padre Island, Texas, 1978–2004. **J Raptor Res** 43:37–42.

HOWARD, J. W.; FAZIO, T. Review of polycyclic aromatic hydrocarbons in foods. **Journal of Association of Official Analytical Chemists**, v. 63, n. 5, p. 1.077-1.104, 1980.

IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH OF CANCER. Polynuclear aromatic compounds. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemical to humans. Part 1, Chemical, **Environmental and Experimental Data**, v. 32, Dec., Lyon, France, IARC, 1983.

IPCS IPoCS (2004) Assessment of Combined Exposures. In: <http://www.who.int/ipcs/methods/harmonization/areas/aggregate/en/index.html>.

JAKUBOWSKI M, TRZCINKA-OCHOCKA M (2005) Biological monitoring of exposure: trends and key developments. **J Occup Health** 47:22-48.

KOSTER, R. D., AND M. J. SUAREZ (1996), Energy and water balance calculations in the Mosaic LSM, NASA Tech. Memo. **NASA TM-104606**, vol. 9, 60 pp., Goddard Space Flight Cent., Greenbelt, Md

Lei Federal no 6.938, de 31 de agosto de 1981;

LENS, L.; VAN DONGEN, S.; WILDER, C. M.; BROOKS, T. M.; MATTHYSEN, E. 1999. Fluctuating asymmetry increases with habitat disturbance in seven bird species of a fragmented afrotropical forest. **Proc. R. Soc.** **266**: 1241-1246.

LENS, L.; VAN DONGEN, S.; GALBUSERA, P.; SCHENCK, T.; MATTHYSEN, E.; VAN DE CASTEELE, T. 2000. Developmental instability and inbreeding in natural bird populations exposed to different levels of habitat disturbance. **Journ. of Evol. Biology.** **13**: 889-896.

LENS, L.; VAN DONGEN, S.; MATHYSEN, E. 2002b. Fluctuating asymmetry as an indicator of fitness: can we bridge the gap between studies? **Biol. Rev.** **77**: 27-38.

MARIE-DESVERGNE C, DUBOSSON M, TOURI L, ZIMMERMANN E, GAUDE-MÔME M, LECLERC L, DURAND C, KLERLEIN M, MOLINARI N, VACHIER I, CHANEZ P, MOSSUZ VC. Assessment of nanoparticles and metal exposure of airport workers using exhaled breath condensate. **J Breath Res.** **2016 Jul 13**;10(3):036006.

MAZAHARI A., NIEUWENHUIS I. L., VAN DIJK H., JENSEN O. (2009). Prestimulus alpha and mu activity predicts failure to inhibit motor responses. **Hum. Brain Mapp.** **30**, 1791–80010.1002/hbm.20763

MENDES, G., Assimetria Flutuante como bioindicadora de mudanças ambientais e interações tróficas em *Cecropia pachystachya* (Urticaceae). **Dissertação – UFMG**. Minas gerais, p. 9. 2014.

MENQ, W. O que são aves de rapina?, 2016 Disponível em : http://www.avesderapinabrasil.com/caracteristicas_gerais.htm. Acessado em: 18/07/2017.

MUKHTAR S., MOHAMMED M.A.,AND ROSNIZA A.C. 2017. Temporal Variation and Pollution Levels of Some Heavy Metals on Irrigated Land Along the Airport Road Kano State, Nigeria. **Malaysian Journal of Applied Sciences**2017, Vol 2 (2): 1-9

NUNES LM, ZHU YG, STIGTER TY, MONTEIRO JP, TEIXEIRA MR. Environmental impacts on soil and groundwater at airports: origin, contaminants of concern and environmental risks. **J Environ Monit.** **2011 Nov**;13(11):3026-39.

Oliveira, F.N.S., Freire, F.C.O., Aquino, A.R.L., 2004. Bioindicadores de Impacto Ambiental em Sistemas Agrícolas Orgânicos. **Embrapa Agroind. Trop.**, 24.

OLIVEIRA FILHO, EDUARDO CYRINO; SISINNO, CRISTINA LUCIA SILVEIRA. Princípios de Toxicologia Ambiental. **S.i: Intercincia**, 2013. 216 p.

PALMER, A. R.; STROBECK, C. 1986. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. **Annual Rev. of Ecol. and Syst.** **45**: 391-421.

PALMER R A.; STROBECK C. 2003. Fluctuating asymmetry revisited. Pp 279-319. Em: Polak M (ed) Developmental Instability (DI): **Causes and Consequences**. New York: Oxford University

- PARSONS, P. A. 1990. Fluctuating asymmetry: an epigenetic measure of estresse. **Biol. Revi.** 65:131-145.
- PARUK JD, ADAMS EM, UHER-KOCH H, KOVACH KA, LONG D 4TH, PERKINS C, SCHOCH N, EVERS DC. Polycyclic aromatic hydrocarbons in blood related to lower body mass in common loons. **Sci Total Environ.** 2016, 15;565:360-8.
- PEAKALL, D.B., T.J. CADE, C.M. WHITE, AND J.R. HAUGH. 1975. Organochlorine residues in Alaskan peregrines. **Pesticides Monitoring Journal** 8:255-260.
- PEREIRA, G.C. & EBECKEN, N.F.F. (2009) – Knowledge discovering for coastal waters classification. **Expert Systems with Applications**, 36(4): 8604 – 8609.
- POPPER, H.H., 6. WIESPAINER, E. LEINGARTNER, W. WEYBORA, AND M. RATSCHEK, "Short-term Chromate Inhalation in a Computer-assisted Inhalation Chamber: Immediate Toxicity and Late Cancer Development", **Environ. Hyg., III**:127-131 (1992).
- QADIR, A., MALIK, R.N., 2011. Heavy metals in eight edible fish species from two polluted tributaries (Aik and Palkhu) of the River Chenab, Pakistan. **Biol. Trace Elem. Res.** 143, 1524–1540.
- QADIR, A., MALIK, R.N., HUSSAIN, S.Z., 2008. Spatio-temporal variations in water quality of Nullah Aik-tributary of the river Chenab, Pakistan. **Environ. Monit. Assess.** 140, 43–59
- QUERO AAM, FERRÉ DM, ZARCO A, CUERVO PF, GORLA NBM. Erythrocyte micronucleus cytome assay of 17 wild bird species from the central Monte desert, Argentina. **Environ Sci Pollut Res Int.** 2016 Dec;23(24):25224-25231.
- QUIRÓS L, RUIZ X, SANPERA C, JOVER L, PINA B (2008) Analysis of micronucleated erythrocytes in heron nestlings from reference and impacted sites in the Ebro basin (N.E. Spain). **Environ Pollut** 155:81–87
- SALAMONI, R.H., PINHEIRO, R.J.B., NUMMER, A.V. Processo operacional da Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita – Santa Maria, RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.14, p.43-50, 2009.
- SARRE. S., DEARN, J.D. 1991. Morphological variation and fluctuating asymmetry among insular populations of the sleepy lizard, *Trachydosaurus rugosus* Gray (Squamata: Scincidae). **Austral. Journ. of Zool.** 39: 91-104.
- SIMMONS, L. W.; TOMKINS, J. L.; KOTIANO, J. S.; HUNT, J. 1999. Fluctuating paradigm. **Proc. Royal Soc. of London.** 266: 593-595.
- SMITH, E. R., SEGER, C., & MACKIE, D. M. (2007). Can emotions be truly group-level? Evidence regarding four conceptual criteria. **Journal of Personality and Social Psychology**, 93, 431-446.

SCHMITT-JANSEN, M.; VEIT, U.; DUDEL, G. & ALTENBURGER, R. (2008) - An ecological perspective in aquatic ecotoxicology: Approaches and challenges. **Basic and Applied Ecology**, 9(4): 337-345. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2007.08.008>)

SEEBAUGH, D.R.; GOTO D. & WALLACE, W.G. (2005) - Bioenhancement of cadmium transfer along a multi-level food chain. **MARINE ENVIRONMENTAL RESEARCH**, 59(5): 473-491. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2004.07.003>)

SOUZA, CARLOS ALBERTO FONTELES DE. Procedimentos de Gestão Ambiental em Aeroportos. Monografia de Especialização, Publicação E-TA02A/2001, **Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes**, Universidade de Brasília, 2001.

SEEGAR WS, YATES MA, DONEY GE, JENNY JP, SEEGAR TC, PERKINS C, GIOVANNI M. Migrating Tundra Peregrine Falcons accumulate polycyclic aromatic hydrocarbons along Gulf of Mexico following Deepwater Horizon oil spill. **Ecotoxicology**. 2015 Jul;24(5):1102-11.

SICK, H. 1997. Ornitologia brasileira. Rio de Janeiro: **Editora Nova Fronteira**.

SILINS I, HÖGBERG J. Combined toxic exposures and human health: biomarkers of exposure and effect. **Int J Environ Res Public Health**. 2011 Mar;8(3):629-47.

SCHMID, W. Chemical mutagen testing on in vivo somatic mammalian cells. **Agents and Actions**, v. 3, p. 77-85, 1973.

SHUGART MS, MORENO E, CRISP BF. 2003. The accountability deficit in Latin America. **See Mainwaring & Welna 2003**, pp. 79-131.

STEFFEE, C.H. AND BAETJER, A.M., "Histopathologic Effects of Chromate Chemicals", *Arch. Environ. Health*, 11: 66-75 (1965).

SWADDLE, J. P. 2003. Fluctuating asymmetry, animal behavior and evolution. **Adv. in the study of behav.** 32: 169-207.

TOURI L, MARCHETTI H, SARI-MINODIER I, MOLINARI N, CHANEZ P. TOURI et al., The airport atmospheric environment: respiratory health at work. **Eur Respir Rev.** 2013 Jun 1;22(128):124-30.

VAESSEN, H.A.M.G.; JEKEL, A.A.; WILBERS, A.A.M.M. Dietary intake of polycyclic aromatic hydrocabons. **Toxicological and Environmental Chemistry**, v. 16, p. 281-294, 1988.

VAN DONGEN, S. 2006. Fluctuating asymmetry and developmental instability in evolutionary biology past, present and future. **Journal of Evolut. Biol.** 19: 1727-1743.

VANGESTEL, C.; LENS, L. 2011. Does fluctuating asymmetry constitute a sensitive biomarker of nutritional stress in house sparrows (*Passer domesticus*)? **Ecologic. Indicat.** 11: 389-394.

VAN SCHOOTEN, F.J.; VAN LEEUWEN, F.E.; HILLEBRAND, M.J.X.; RIJKE, M.E.; HART, A.A.M.; VAN VEEN, H.G.; OOSTERINK, S.; KRIEK, E. Determination of

benzo(a)pyrene diol epoxide-DNA adducts in white blood cell DNA from coke-oven workers: the impact of smoking. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 82, n. 11, Jun., p. 927-933, 1990.

WHITE, C.M., KIRWAN, G.M., CHRISTIE, D.A. & BOESMAN, P. (2013) American Kestrel (*Falco sparverius*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.) (2013). **Handbook of the Birds of the World Alive**. Lynx Edicions, Barcelona.

YAMAMOTO, K.I.; KIKUSHI, Y. A comparison of diameters of micronuclei induced by clastogens and by spindle poisons. **Mutation Res.** **71**; 127-131, 1980.

ZAYED, J., HONG, B., L'ESPERANCE, G., (1999). Characterization of manganese containing particles collected from the exhaust emissions of automobiles running with MMT additive. *Environ. Sci. Technol.* **33**, 3341–3346.

ZÚÑIGA-GONZÁLEZ G1, TORRES-BUGARÍN O, ZAMORA-PEREZ A, GÓMEZ-MEDA BC, RAMOS IBARRA ML, MARTÍNEZ-GONZÁLEZ S, GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A, LUNA-AGUIRRE J, RAMOS-MORA A, ONTIVEROS-LIRA D, GALLEGOS-ARREOLA MP. Differences in the number of micronucleated erythrocytes among young and adult animals including humans. Spontaneous micronuclei in 43 species. **Mutat Res.** **2001 Jul 25**;494(1-2):161-7.

ZÚÑIGA-GONZÁLEZ G1, TORRES-BUGARÍN O, LUNA-AGUIRRE J, GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ A, ZAMORA-PEREZ A, GÓMEZ-MEDA BC, VENTURA-AGUILAR AJ, RAMOS-IBARRA ML, RAMOS-MORA A, ORTÍZ GG, GALLEGOS-ARREOLA MP. Spontaneous micronuclei in peripheral blood erythrocytes from 54 animal species (mammals, reptiles and birds): part two. **Mutat Res.** **2000 Apr 13**;467(1):99-103.

ANEXOS E APÊNDICES



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 59921-1	Data da Emissão: 15/08/2017 16:24	Data para Revalidação*: 14/09/2018
* De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular	Título do Projeto: O Impacto da Contaminação Ambiental de Aeroportos em
Aves de Rapina	

Nome: JULIAN STOCKER

CPF: 013.434.800-19

Nome da Instituição : CENTRO UNIVERSITÁRIO LA SALLE

CNPJ: 92.741.990/0040-43

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta de material biológico	08/2017	12/2018

Observações e ressalvas



Credenciamento: Portaria N° 597/2017 de 5/5/2017, D.O.U de 8/5/2017

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada **“O Impacto Ambiental Aeroportuário em Aves de Rapina”** registrada com nº 003/2017, sob a responsabilidade da Professora Doutora Fernanda Rabaioli da Silva, e que envolve a utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto humanos) para fins de ensino, encontra-se de acordo com pedidos de Lei nº 11.794 de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899 de 15 de julho de 2009, com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi APROVADO pela COMISSÃO DE ÉTICA DO USO ANIMAL DA UNIVERSIDADE LA SALLE CANOAS/RS, em reunião de 07/12/2017.

Observação: Com autorização do IBAMA –MMA (SISBIO 59921-2).

Canoas, 18 de dezembro de 2017.

Profª Drª Alessandra Marqueze

Coordenadora da CEUA – Unilasalle