PHILLIPE KNIPPEL DO CARMO GRAÇA

ASSIMETRIA FLUTUANTE EM PASSERIFORMES DE MATA ATLÂNTICA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

SERRA TALHADA, 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

ASSIMETRIA FLUTUANTE EM PASSERIFORMES DE MATA ATLÂNTICA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Phillipe Knippel Do Carmo Graça

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Grduação em Biodiversidade e Con- servação da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para ob- tenção do título de Mestre.

Linha de pesquisa: Biogeografia, Ecologia e Conservação de Aves Neotropicais) da Uni- versidade Federal Rural de Pernambuco.

Prof. Dr. ALEXANDRE MENDES FERNANDES

Orientador

SERRA TALHADA,

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UAST, Serra Talhada-PE, Brasil

G729a Graça, Phillipe Knippel do Carmo

Assimetria flutuante em passeriformes de mata atlântica na região Nordeste do Brasil / Phillipe Knippel do Carmo Graça. - Serra Talhada, 2019.

62 f. : il.

Orientador: Alexandre Mendes Fernandes

Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2019.

Inclui referências.

1. Biodiversidade. 2. Indicadores biológicos. 3. Paisagens fragmentadas. I. Fernandes, Alexandre Mendes, orient. II. Título.

CDD 631

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

ASSIMETRIA FLUTUANTE EM PASSERIFORMES DE MATA ATLÂNTICA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Phillipe Knippel Do Carmo Graça

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Biodiversidade e Conservação. Defendida e aprovada em 09/07/2019 pela seguinte Banca Examinadora.

Prof. Dr. Alexandre Mendes Fernandes - Orientador
[Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Conservação / Universidade Federal Rural de Pernambuco]

Prof. Dr. Edgar Alberto do Espírito Santo Silva - Membro Interno (Titular)
[Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Conservação / Universidade Federal Rural de Pernambuco]

Prof. Dr. Wallace Rodrigues Telino Júnior - Membro Externo (Titular)
[Programa de Pós Graduação em Ecologia / Universidade Federal Rural de Pernambuco]

Prof. Dr. Daniel Portela Wanderley de Medeiros - Membro Externo (suplente)
[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

Prof. Dr. Airton Torres Carvalho - Membro Interno (Suplente)
[Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Conservação / Universidade Federal Rural de Pernambuco]

Dedico este trabalho a minha mãe e meu pai:
Edilamar Knippel do Carmo Graça e
Nilson Francisco da Graça.

Agradecimentos

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta me deram suporte na conclusão desse objetivo.

Aos meus pais, Edilamar e Nilson, pelo amor absoluto, pelo apoio e, principalmente, pelo incentivo durante os dois anos de dedicação ao mestrado. Obrigado pelo estímulo nos momentos complicados. Enfim, obrigado por ser meu porto seguro.

Aos "tios", Darcilene e Ramalho, pela confiança depositada em mim sem me conhecer, por terem me acolhido por muitos meses em Recife, no início de tudo. Sou eternamente grato aos dois e com vocês eu me sinto em casa. Sem vocês a caminhada não teria existido.

Á tia Shirleyne por me receber em seu lar com tanto carinho e proteção durante semanas em São Paulo. Seu suporte foi essencial.

Ao prof. Dr. Alexandre Mendes Fernandes, um dos responsáveis pelo meu crescimento profissional. Agradeço pela orientação e ao crédito em mim depositado.

Ao amigo Douglas, pela ajuda com as correções deste trabalho e pela recomendação para minha acomodação em São Paulo, e ao colega Gustavo, por ter me recebido tão bem em São Paulo e pela nova amizade a mim confiada.

Ao Dr. Luiz Fábio Silveira (MUZUSP, USP) e Dr. Luciano N. Naka (ORNITOLAB, UFPE – PE), pelo livre acesso às coleções científicas usadas nessa dissertação. Agradeço também à Dra. Natalia Luchetti, à Graduada Francisca Vanessa Lemos, à Graduada Layse Albuquerque e ao Graduando Vitor de Deus pelo suporte nas coleções. Sou muito grato a vocês!

Aos Colegas Wellington, Rodrigo, Victor e Alan, pela ajuda com a parte estatística.

A todos os meus colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, pelo companheirismo e dicas. Em especial ao Hygo, Jayne e Joécio.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste projeto, a Capes pela bolsa de estudos fornecida para a realização deste curso, e agradeço à ONG IDEA WILD pela doação de diversos equipamentos da área de ornitologia. Many Thanks!

Aos membros da banca, pelas sugestões apresentadas e aos demais professores do Programa, pelos ensinamentos.

Resumo

Ações antrópicas como o desmatamento são responsáveis por provocar alterações drásticas na composição e na estrutura da vegetação, refletindo diretamente sob a fauna que depende destas florestas para explorar seus recursos ambientais. A adaptabilidade frente às mudanças ambientais e sua persistência em longo prazo são comprometidas pela perda de variabilidade genética sofrida por pequenas populações de seres vivos. Os dados a respeito da viabilidade populacional de diversas espécies, incluindo as aves, são deficientes, e as mesmas são excelentes indicadores da qualidade ambiental e boas ferramentas para compreendermos e monitorarmos alterações ambientais. A assimetria flutuante (AF) é uma medida de estresse genético ou ambiental (natural ou artificial), caracterizada por desvios de simetria na morfologia dos indivíduos, que pode ser uma ferramenta para medição dos efeitos de reduções populacionais significativas. A AF pode ser aumentada em populações que vivam em áreas antropizadas e venham a ser isoladas em habitats com fragmentação das vegetações, que causam a perda de espécies e a diminuição do tamanho das populações. Algumas pesquisas sugerem que a AF seja uma ferramenta de monitoramento ambiental prática e confiável, devido à forma de obtenção dos dados para avaliação quantitativa de estresse e tendo potencial como índice de qualidade fenotípica e sucesso reprodutivo. Desse modo, a AF é um indicador para monitorar populações naturais. Assim, objetivo dessa dissertação foi: 1) comparar os valores de asas e tarsos de pássaros entre fragmentos florestais de Mata Atlântica de diferentes tamanhos e áreas contínuas de floresta amazônica; 2) determinar quais populações de aves apresentaram AF. A pesquisa foi realizada em fragmentos de Mata Atlântica na região do Nordeste, região altamente fragmentada, e região Amazônica, uma área de floresta contínua que atuará como grupo controle. Os dados foram obtidos a partir de peles de aves depositadas nas coleções ornitológicas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MU- ZUSP). Os resultados demonstraram que os caracteres apresentam distribuição normal e média zero, podendo-se assumir que os níveis de assimetria observados são assimetria flutuante. A análise de AF demonstrou um padrão assimétrico na média de 14 dos 18 fragmentos. Não há evidência significativa de aumento nos índices de AF em fragmentos menores em detrimento de áreas maiores para as variáveis (comprimento da asa e comprimento do tarso) A hipótese de que os indivíduos coletados em fragmentos menores apresentariam maiores níveis de AF em caracteres de asa e tarso não foi corroborada. Isso pode decorrer do fato dos passeriformes

estarem de alguma forma conseguindo se dispersar entre os fragmentos, podendo ter se desenvolvido em algumas áreas e estarem utilizando outras apenas como ponto de forrageio. Em resultados apresentando fragmentos maiores com maiores níveis de AF, subtende-se que o estressor ambiental não seja o tamanho do fragmento em si, mas algo no entorno do mesmo e que de certa forma está impactando no bem estar dos pássaros analisados.
Palavras-chave: avifauna, biodiversidade, bioindicadores, conservação, fragmentação florestal.

Abstract

Anthropogenic actions such as deforestation are responsible for causing drastic changes in vegetation composition and structure, directly reflecting under the fauna that depends on these forests to exploit their environmental resources. Adaptability to environmental changes and their long-term persistence is compromised by the loss of genetic variability suffered by small populations of living beings. Data on the population viability of various species, including birds, are poor, and they are excellent indicators of environmental quality and good tools for understanding and monitoring environmental changes. FA is a measure of genetic or environmental stress (natural or artificial), characterized by deviations of symmetry in the morphology of individuals, which can be a tool to measure the effects of significant population reductions. FA can be increased in populations living in anthropogenic areas and being isolated in habitats with vegetation fragmentation, which causes species loss and population size decrease. Some researches suggest that FA is a practical and reliable environmental monitoring tool, due to the way of obtaining the data for quantitative stress assessment and having potential as an index of phenotypic quality and reproductive success. Thus, FA is an indicator for monitoring natural populations. Thus, the objective of this dissertation was: 1) to compare the values of wings and tarsus of birds among forest fragments of Atlantic Forest of different sizes and continuous areas of Amazonian forest; 2) determine which bird populations had FA. The research was carried out on fragments of the Atlantic Forest in the Northeast region, a highly fragmented region, and the Amazon region, a continuous forest area that will act as a control group. The data were obtained from skins of birds deposited in the ornithological collections of the Federal University of Pernambuco and Museum of Zoology of the University of São Paulo. The results showed that the characters present normal and zero mean distribution, assuming that the observed asymmetry levels are fluctuating asymmetry. FA analysis demonstrated an asymmetric pattern on the average of 14 of the 18 fragments. There is no significant evidence of increase in FA indices in smaller fragments to the detriment of larger areas for the variables (wing length and tarsal length). The hypothesis that individuals collected in smaller fragments would present higher levels of FA in wing characters and tors was not corroborated. This may be due to the fact that the birds are somehow able to disperse among the fragments, may have developed in some areas and are using others only as a foraging point. In results presenting larger fragments with higher levels of FA, it is understood that the environmental stressor is not the size of the

fragment itself, but something around it and that in a way is impacting on the welfare of the analyzed birds.

Keywords: biodiversity, bioindicators, birdlife, conservation, forest fragmentation.

Lista de figuras

Figura 1-	Distribuições das frequências das diferenças entre os lados direito e esquerdo (D-E) para os três tipos mais comuns de assimetria em organismos bilaterais: assimetria flutuante, assimetria direcional e antissimetria	20
	ARTIGO CIENTÍFICO	31
	EFEITO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL SOBRE A ASSIMETRIA DE AVES PASSERIFORMES DE MATA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO BRASIL	
Figura 1-	Mapa da área de estudo demonstrando a localização dos 18 fragmentos florestais estudados (Mata Atlântica, Nordeste, Brasil) (Obtido pelo Google Earth).	34
Figura 2-	Forma de medição das asas e tarsos das amostras.	38
Figura 3-	Relação das medidas do comprimento das asas direita e esquerda a partir de uma ANOVA.	40
Figura 4-	Relação das medidas do comprimento dos tarsos direito e esquerdo a partir de uma ANOVA.	40
Figura 5-	Dependência da assimetria flutuante (AF) em relação a asa direita.	40
Figura 6-	Dependência da assimetria flutuante (AF) em relação ao tarso direito.	41
Figura 7-	Curvas de normalidade com histogramas representativos da distribuição das frequências dos valores individuais de assimetria entre os lados direito e esquerdo de cada caracter, asa e tarso respectivamente, para o bioma Mata Atlântica.	41
Figura 8-	Curvas de normalidade com histogramas representativos da distribuição das frequências dos valores individuais de assimetria entre os lados direito e esquerdo de cada caracter, asa e tarso respectivamente, para as áreas analisadas.	44
Figura 9-	Média da assimetria flutuante (AF) (média + desvio padrão) em asa e tarso entre as áreas analisadas (fragmentos menores e maiores).	46

Lista de tabelas

ARTIGO CIENTÍFICO 31

EFEITO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL SOBRE A ASSIMETRIA DE AVES PASSERIFORMES DE MATA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO BRASIL

Tabela 1-	Caracterização da área.	34
Tabela 2-	Espécies utilizadas na análise de comparação entre assimetria flutuante (AF) (nomenclatura de acordo com CBRO 2014) de passeriformes de Mata Atlântica e da Amazônia e seus números de exemplares distribuídos.	39
Tabela 3-	Teste de Shapiro-Wilk confirmando a normalidade da distribuição das frequências dos valores Individuais de assimetria entre os lados direito e esquerdo de cada carácter, asa e tarso respectivamente, para a área analisada.	41
Tabela 4-	Teste T-student confirmando as médias da distribuição de frequência dos valores individuais dos caracteres asa e tarso (lado direito e esquerdo) para a área analisada.	42
Tabela 5-	Teste de Proporções demonstrando a proporção de valores individuais de assimetria flutuante (AF) dos caracteres asa e tarso (lado direito e esquerdo) que apresentaram valores médios menores ou iguais à zero ou maiores que zero, para as áreas analisadas. Mata Atlântica e Amazônia.	42
Tabela 6-	Espécies utilizadas na análise de assimetria flutuante (AF) comparativa entre comunidades de aves de fragmentos de diferentes tamanhos (nomenclatura de acordo com CBRO 2014) e seus números de exemplares distribuídos por fragmentos florestais analisados.	42
Tabela 7-	Caracterização das áreas estudadas: TF=tamanho do fragmento (P=pequeno, G=Grande); Área=tamanho aproximado da área do fragmento em hectares; N=número de aves mensuradas em cada localidade; Eng=Engenho; U=Usina; E.E= Estação Ecológica; Fz=Fazenda; S=São; Rsv=Reserva.	43
Tabela 8-	Significância (p) do teste t-Student para médias significativamente diferentes de zero dos lados direito e esquerdo para o caractere morfométrico analisado (tarso) de passeriformes de fragmentos maiores de Mata Atlântica do Nordeste. Valores significativos (em negrito) indicam	45

uma possível assimetria direcional, que após ser aplicada a correção da assimetria direcional (valor em itálico), esta não demonstrou inferir sobre assimetria flutuante (AF).

Tabela 9- Variação da Assimetria Flutuante (AF) em relação ao fragmento dos passeriformes estudados, para os dois caracteres analisados. 46

Tabela 10- Valores da média de Assimetria Flutuante (AF) para os fragmentos analisados. Valores apresentados em módulo. 47

Sumário

	Dedicatória	**5**
	Agradecimentos	**6**
	Resumo	**7**
	Abstract	**9**
	Lista de Figuras	**11**
	Lista de Tabelas	**12**
1-	**1ntrodução**	**16**
2-	**Revisão de Literatura**	**19**
3-	**Referências Bibliográficas**	**24**
4-	**Artigo científico**	**31**
4.1-	***Artigo científico I***	**31**

EFEITO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL SOBRE A ASSIMETRIA DE AVES PASSERIFORMES DE MATA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO BRASIL

	Resumo	**31**
	Introdução	**32**
	Material e métodos	**34**
	Área de estudo	**34**
	Caracteres mensurados	**38**
	Análises Estatísticas, Índices de AF e erros de mensuração	**38**
	Resultados	**39**
	Análise comparativa da assimetria flutuante em passeriformes de Floresta Amazônica e Mata Atlântica	**39**
	Análise comparativa da assimetria flutuante em pássaros de fragmentos da Mata Atlântica de diferentes tamanhos	**42**
	Discussão	**47**
	Assimetria flutuante: Amazônia vs. Mata Atlântica	**47**
	Assimetria flutuante e fragmentação florestal da Mata	**47**

Atlântica

Efeito da matriz sob a assimetria flutuante em aves passeriformes **48**

Assimetria e ecologia das aves **48**

Referências bibliográficas **49**

5- Conclusões **60**

1- INTRODUÇÃO

O termo Mata Atlântica, segundo Câmara (2005), foi determinado pela primeira vez em um consenso cientifico no ano de 1990, em um workshop, pela Fundação SOS Mata Atlântica. Ainda segundo Câmara (2005), à respeito desse encontro: "Nesse encontro histórico, de grande importância para a conservação do bioma, os participantes concordaram que o termo Mata Atlântica deveria abranger as florestas pluviais do litoral; as matas sulinas mistas com araucárias, também conhecidas como pinheiros-do-paraná (Araucaria angustifolia) e lauráceas (família Lauraceae); as florestas estacionais decíduas e semidecíduas interioranas; e os ecossistemas associados, incluindo manguezais, restingas, campos de altitude, enclaves de campos e cerrados e as matas montanas da região Nordeste, localmente conhecidas como "brejos" e "chãs". As duas últimas são florestas remanescentes no nordeste do Brasil com características de Mata Atlântica." (CÂMARA, 2005; p.472.)

Entre os ecossistemas brasileiros, a Mata Atlântica se destaca por apresentar parcela significativa da diversidade biológica com elevados níveis de endemismo (Mittermeier et al., 2004) . Hoje em dia resta menos de 8% de sua área original (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2002), e ainda que muito de sua riqueza biológica continue sendo mantida, é provável que a Mata Atlântica seja o bioma mais devastado e ameaçado do planeta, sofrendo alterações em um ritmo que está entre os mais rápidos observados (CARDOSO, 2016).

As ações antrópicas no bioma Mata Atlântica, na região do Nordeste, iniciaram no século XVI com a extração do pau-brasil e o plantio da cana de açúcar, demandando áreas extensas para o cultivo, da mesma forma que atualmente. (COIMBRA-FILHO e CÂMARA, 1996). Esses ciclos sucessivos de exploração resultaram na redução extrema da cobertura vegetal natural, levando à paisagem atual, intensamente dominada pelo homem (Mittermeier et al., 2004).

O processo da colonização brasileira gerou consequências graves para a conservação da Mata Atlântica, e na região Nordeste tais consequências foram mais graves (ANDRADE, 1979; ASSIS, 1998; CÂMARA, 1996; COIMBRA-FILHO e CÂMARA, 1996). Alguns autores como Holanda e Bóris (1962), Crosby (1993), Holanda (1999) e a Fundação SOS Mata Atlântica (2001) tratam a devastação no ambiente Mata Atlântica como um processo resultado da política de ocupação e da exploração portuguesa no Brasil Colônia.

O Brasil teve sua estrutura colonial mantida por ciclos na economia, tal qual o ciclo da cana-de-açúcar na região Nordeste (FREYRE, 2004). Tais atividades modificaram os padrões de uso e ocupação do solo, sendo invariavelmente associadas a impactos ambientais.

A região do Nordeste possui seus remanescentes de Mata Atlântica distribuída em pequenos fragmentos (SILVA; TABARELLI, 2001), e quase não existem grandes extensões de floresta como as do território sul e sudeste do Brasil (BROWN JR.; BROWN, 1992; TABA- RELLI, 1997). Mesmo recebendo um grau de proteção reduzido, a Mata Atlântica do Nordeste abriga os principais centros de endemismo e espécies ameaçadas nas Américas (WEGE; LONG, 1995; VIANNA; TABANEZ; BATISTA, 1997; RANTA et al., 1998; SILVA; TABARELLI, 2000; LYRA-NEVES et al., 2004), e apresenta afinidade com a Floresta Amazônica (ANDRADE-LIMA, 1966; BARBOSA, 1996).

Além de se destacar pela sua biodiversidade, a Mata Atlântica nordestina também se destaca dentre os ecossistemas brasileiros como a mais ameaçada devido às perdas florestais (TABARELLI, et al., 2004; GRILLO, 2005; TABARELLI et al., 2006). Ainda que as perturbações antrópicas como o desmatamento cessassem, a maior parte dos fragmentos restantes de Mata Atlântica no Nordeste já não é mais autossuficiente para manter estoque de sementes, cadeias tróficas, espécies florestais e os serviços ecológicos (TABARELLI et al., 2010; VALLADARES et al., 2012), existindo a possibilidade de ocorrem alterações ambientais e perturbações genéticas.

Perturbações genéticas e alterações ambientais – muitas vezes causa dessas interferências genéticas - podem causar estresse nos indivíduos das populações afetadas (CRNO- BRNJA-ISAILOVIC et al., 2005; LENS et al., 1999; PARSONS, 1992). A definição para estresse é toda mudança ambiental ou efeito genético que resulta em uma diminuição no valor adaptativo de um indivíduo (CRNOBRNJA-ISAILOVIC et al., 2005). Tal fato acontece, pois um aumento no gasto energético para realizar atividades diárias, gerado devido à elevada taxa metabólica que o indivíduo na condição de estresse apresenta, o deixa em desvantagem competitiva e ameaça sua sobrevivência e sucesso reprodutivo (HOFFMAN e PARSONS, 1991; PARSONS, 1992).

Exemplos de alterações ambientais que levam indivíduos ao estresse são fragmentação, perda de habitat, variações na temperatura e substâncias poluentes (CRNOBRNJA- ISAILO- VIC et al., 2005; LENS et al., 1999; MOLLER e SWADDLE, 1997). Já as interferências genéticas que podem causar estresse à nível genômico nos indivíduos podem ser exemplificadas por variações no estado nutricional e na densidade da população, que podem gerar aumento da endogamia, perda da variabilidade genética e a

diminuição da heterozigose (PARSONS, 1992). Em situações onde o estresse ocorre em fases críticas do desenvolvimento do organismo, pode ocorrer a formação de fenótipos anormais e, caso esse estresse - ambiental ou genético - seja muito severo, toda ou grande parte da população é afetada, o que modifica a variabilidade fenotípica e genotípica da mesma (HOFFMAN e PARSONS, 1991; WADDINGTON, 1956). O estresse severo possui efeitos cumulativos que minimizam a capacidade do organismo diminuir a produção de erros randômicos em seu genoma, afetando a estabilidade do desenvolvimento dos indivíduos (CRNOBRNJA-ISAILOVIC et al., 2005; PARSONS, 1992).

Uma vez que o uso da assimetria flutuante como ferramenta de índice biológico para analisar populações, além do efeito dos fragmentos florestais sobre comunidades de aves tem se mostrado promissores - ainda que sejam escassos os realizados em fragmentos florestais de Mata Atlântica do Nordeste -, a presente pesquisa busca verificar se passeriformes em áreas de Mata Atlântica de fragmentos menores apresentam assimetria flutuante maior do que passeriformes em áreas de Mata Atlântica de fragmentos maiores, além de comparar a média da assimetria flutuante de asas e tarsos de passeriformes entre fragmentos florestais de Mata Atlântica de tamanhos diferentes e áreas de floresta contínua da Amazônia.

A presente pesquisa foi realizada no laboratório de ornitologia da UFPE (Ornitolab) e Museu de Zoologia da USP, onde se encontram depositadas coleções osteológicas e de peles de aves.

2- REVISÃO DE LITERATURA

A assimetria flutuante (AF) é uma das técnicas de monitoramento de populações realiza- das em habitats alterados para a avaliação de impactos ambientais. Sua definição é dada por Van Dongen (2006) como sendo a diferença entre os dois lados de caracteres de indivíduos simétricos bilateralmente, se constituindo de pequenos desvios que se apresenta com um padrão de variação com distribuição normal, a partir de uma média zero, o que evidencia a tendência natural dos indivíduos de apresentarem caracteres simétricos (PALMER, 1999; POLAK et al., 2003).

A única forma de assimetria considerada não adaptativa, a assimetria flutuante é decorrente da interação entre a estabilidade do desenvolvimento ou homeostase (controle genético) e a instabilidade do desenvolvimento (distúrbios de origem genética ou ambiental) enfrentados por organismos durante o desenvolvimento dos caracteres (AMBO-REPEL et al., 2008; SWADDLE, 2003).

A estabilidade do desenvolvimento ou a homeostase do desenvolvimento é a habilidade de um organismo em resistir a perturbações ambientais e genéticas durante seu desenvolvi- mento de forma a produzir um fenótipo geneticamente predeterminado (LEMER, 1954; WA- DDINGTON, 1942). A assimetria flutuante é uma das mais utilizadas dentre as muitas formas de medir a estabilidade do desenvolvimento.

Uma vez que acidentes durante o desenvolvimento são atenuados pela estabilidade do mesmo, a assimetria flutuante reflete a eficiência dos mecanismos desta (CLARKE, 1995).

Os inúmeros termos usados na descrição de padrões observáveis de assimetria flutuante e os usados para descrever seus processos e causas foram revisados por Palmer (2003), as agrupando em assimetria flutuante, antissimetria e assimetria direcional.

O padrão da AF consiste de pequenos desvios de determinado caractere em dada população, sendo representado pela distribuição de frequências da diferença entre os lados do caractere apresentando um padrão de variação com distribuição normal, a partir de uma média zero (PALMER, 1999; POLAK et al. 2003), evidenciando a tendência natural de indivíduos apresentarem caracteres simétricos. Quando essa tendência é alterada pode apontar para um aumento na frequência de indivíduos assimétricos dentro da população.

Além da AF, existe a assimetria direcional e a antissimetria, porém, estas duas últimas são assimetrias adaptativas, ocorrendo em caracteres que são naturalmente mais desenvolvidos em um dos lados, de forma randômica (antissimetria) ou não (assimetria direcional) (figura 1).

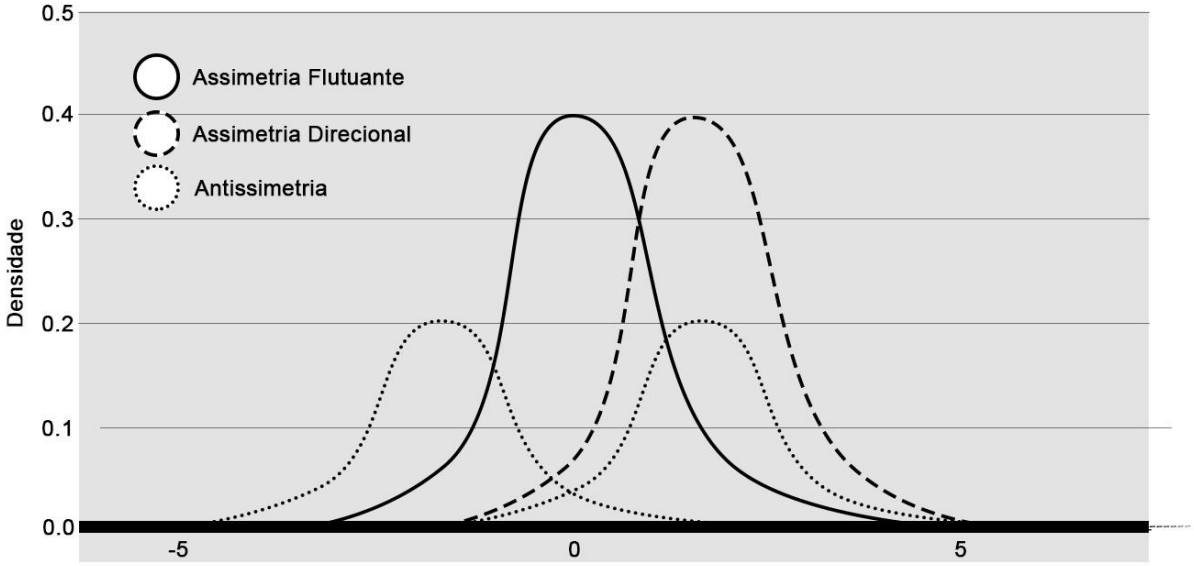

Figura 1: Distribuições das frequências das diferenças entre os lados direito e esquerdo (D-E) para os três tipos mais comuns de assimetria em organismos bilaterais: assimetria flutuante, assimetria direcional e antissimetria.

A assimetria direcional ocorre quando naturalmente e de forma não randômica ocorre um desenvolvimento maior de um caracter em um ou mais lados do plano de simetria do que do outro (VAN VALEN, 1962), sendo a maioria dos indivíduos assimétricos na mesma direção (PALMER, 2004) Estatisticamente, a média das diferenças entre as características repetidas é diferente de zero (PALMER, 2003; STROBECK, 2003).

A antissimetria se distingue da assimetria direcional, pois, mesmo existindo predomínio da assimetria entre os indivíduos, os desvios se manifestam sem tendenciar a alguma direção (GRAHAM, 2015; KLINGENBERG, 2015). A média das diferenças entre as características repetitivas permanece zero, como na simetria, porém a dispersão das frequências das diferenças em torno da média é alta, a curva de frequências das diferenças é platicúrtica, tendenciando o surgimento — considerando características pareadas — duas modas diferentes nos valores de desvio (PALMER, 1994).

Enquanto a assimetria direcional é representada por uma curva com desvio para um dos lados, a antissimetria é representada por uma curva de distribuição de frequências bimodal (Palmer e Strobeck, 1986) (figura 1).

A assimetria flutuante é uma das técnicas usualmente utilizadas para medir a influência de fatores externos sobre o fenótipo dos indivíduos (PALMER e STROBECK,

1986; SANSE- VERINO e NESSIMIAN, 2008). Medir mudanças ao longo do desenvolvimento ontogenético é um dos indicadores de contaminação ambiental baseado em respostas biológicas, sendo uma ferramenta favorável ao biomonitoramento (PALMER, 1994; KITEVISKI e PYRON, 2006).

Pesquisas utilizando a assimetria flutuante vêm recebendo um interesse maior devido em grande parte a sua importância por aferir o estresse do desenvolvimento e do ambiente (LEARY e ALLENDORF, 1989; CLARKE, 1995, 1998; LENS et al., 1999) , e no contexto de seleção natural e sexual (BALMFORD et al., 1993); POLAK e TRIVERS, 1994; MOLLER e SWADDLE, 1997; SIMMONS et al.,1999), sendo sugerido como uma ferramenta capaz de observar o nível de estresse genético (elevado endocruzamento, baixa taxa de heterozigose ou hibridação) e ambiental (poluentes, parasitas, baixa oferta alimentar, fragmentação de habitats) a que populações naturais estão sujeitas (PARSONS, 1990,1992; SARRE et al., 1994).

Populações sob stress genético ou ambiental demonstraram elevados níveis de assimetria flutuante em diversas espécies (BADYAEV et al., 2000; LEAMY et al., 1999). Aves capturadas em áreas mais antropizadas no Cerrado mineiro apresentaram maiores valores de assimetria flu- tuante para asa e tarso (GONÇALVES, 2012), indicando que o estresse ambiental é responsável por aumentar os níveis de assimetria flutuante aos quais as espécies estavam sujeitadas, Neto et al. (2013) avaliaram a assimetria flutuante de seis caracteres em morcegos (Ca- rollia perspicillata) de dois fragmentos de Floresta Atlântica de Pernambuco. Sendo uma estação Ecológica (Caetés) e um Refúgio (Charles Darwin), localizados na sub-região de Pernam- buco, um ecossistema que já sofreu grave desmatamento, os resultados revelaram assimetria em três dos seis caracteres estudados em ambas as localidades pesquisadas, evidenciando que a população de C. perspicillata possivelmente ainda está sofrendo os impactos pelo estresse ambiental da fragmentação florestal desses locais, mesmo após tais áreas receberem anos de práticas conservacionistas.

Atividades agropastoris como o impacto de glifosato e a diminuição de mata ripária contribuíram para AF em girinos das espécies *Physalaemus cuvieri* e *Scinax fuscomarginatus* (COSTA, 2014), e o aumento de AF em humanos é mostrado como consequência do estresse nutricional (PERZIGIAN, 1977). Apesar dos pontos apresentados acima, não foi observada diferença significativa na assimetria flutuante nos caracteres mensurados em indivíduos de *E. basalis* (libélula) de áreas degradadas quando comparados com os indivíduos pertencentes a áreas preservadas (REIS et al., 2011).

Embora os estudos fornecendo evidências ao associar estresse genético ou ambiental e assimetria flutuante em plantas sejam escassos, estes já podem ser encontrados com mais frequ- ência na literatura, tendo forte embasamento teórico na monitoria do ambiente, já que a assime- tria em organismos sésseis pode refletir com mais precisão os efeitos ambientais do que os da- dos obtidos de organismos móveis (HANDFORD, 1980). Indivíduos de Cecropia pachystachya (Embaúba) apresentaram os maiores níveis de assimetria flutuante em folhas quando em áreas sob influência da atividade mineradora e de estrada com tráfego intenso (MENDES, 2014).

Variados tipos de estresse genético podem atuar afetando os níveis de AF, segundo alguns estudos, e a relação entre Assimetria Flutuante e heterozigosidade é o alvo da discussão de muitos deles (HOELZEL et al., 2002; HOSKEN et al., 2000; VØLLESTAD et al., 1999; WAYNE et al., 1986). Mesmo que muitos destes estudos indiquem existir uma relação entre a diminuição da variabilidade genética e o aumento da assimetria (HOELZEL et al., 2002; HUTCHISON e CHEVERUD, 1995; WAYNE et al., 1986), pesquisas em amostras provenientes de laboratório em condições controladas (HOSKEN et al., 2000) comparando a diferença de variabilidade genética entre elas (HOSKEN et al., 2000), não demonstram relações significativas entre assimetria e heterozigosidade.

A relação entre assimetria flutuante e heterozigosidade foi relacionada em 41 estudos em uma meta-análise (VØLLESTAD et al., 1999) e apenas em seres ectodérmicos houve significa- tiva correlação. Tal hipótese se baseia no argumento de que os seres endodérmicos experimen- tam geralmente um ambiente interno bem controlado durante o desenvolvimento embrionário, já os ectodérmicos atravessam grandes flutuações ambientais (NOVAK et al., 1993). Os autores desses estudos afirmam que a assimetria não deve ser utilizada de forma generalizada como uma ferramenta para averiguar estresse genético, mesmo que seja uma forma útil para estimar estres- se ambiental. Sendo assim, mudanças nos padrões de assimetria não devem ser relacionadas di- retamente e exclusivamente com a heterozigosidade dos indivíduos de uma população, sofrendo influência por um conjunto de fatores, como as diferentes formas de estresse ambiental.

Muitos estudos sugerem que o biomonitoramento de ambientes naturais e inalterados pode ser verificado através da assimetria flutuante em populações de aves. Áreas mais fragmen- tadas se relacionaram com maiores níveis de AF em passeriformes de Mata Atlântica do que florestas contínuas (ANCIÃES e MARINI, 2000). Passeriformes do estado de Minas Gerais sob estresse ambiental no estado de Minas Gerais apresentaram assimetria flutuante nos ossos tarso, coracóide, fêmur e ulna (ALMEIDA, 2003). Espécies do gênero

Turdus (Sabiá) ocorren- tes em um parque urbano no Estado do Paraná, demonstraram um padrão assimétrico de tarso e asa a partir da análise de assimetria flutuante (AF) (VOGEL et al., 2012).

Ainda que alguns estudos indiquem que a avifauna pode também ser analisada quanto ao nível de assimetria flutuante nas circunstâncias de hábito de espécie e seleção sexual, resultados diferentes foram obtidos para tal. Espécies relativamente mais aéreas demonstraram uma tendência a apresentar menores níveis de assimetria flutuante para asa do que espécies de hábitos mais terrestres, e machos de espécies não migratórias – ainda que de forma sútil – apresentaram um design levemente mais assimétrico do que machos de espécies migratórias (BALMFORD et al., 1993).

Espécies de aves com ornamentos sexuais na cauda apresentaram grande grau de assimetria flutuante em tais ornamentos, além de relação negativa entre o tamanho do ornamento e o grau de assimetria (MOLLER e HÖGLUND, 1991). A andorinha de bando (Hirundo rustica) em estudo sobre variações em suas penas da cauda apresentaram correlação negativa entre assimetria flutuante e sucesso no acasalamento (Rasmuson, 2002). Porém, outras pesquisas não encontraram evidências convincentes entre uma relação negativa consistente do tamanho do caracter e assimetria flutuante em penas ornamentais de cauda (BALMFORD et al., 1993). Entende-se, portanto, que os processos da seleção natural determinam significativamente os níveis de assimetria flutuante em uma população, onde é menos provável que a assimetria flutuante ocorra em caracteres funcionais significativos ou partes de um caractere que esteja estreitamente relacionado ao desempenho do organismo (BALMFORD et al., 1993), sendo a assimetria flutuante dependente da forma e importância funcional das asas e caudas por exemplo, e tendo diversos significados conforme varia as espécies.

3- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R.C.V. Assimetria flutuante em esqueletos de aves Passeriformes do Estado de Minas Gerais: aspectos metodológicos e implicações sobre a utilização de coleções osteológicas como objeto de estudos de variação temporal de comunidades. **Dissertação (Mestrado em Zoologia de vertebrados)**, PUC Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2003.

AMBO-REPEL, R.; LAJUS, D.L.; SCHENEIDER, M.J. Increased heavy metal nutrient contamination does not increase fluctuating asymmetry in the seagrass. Halophia ovalis. **Ecol. Ind**, v.8, p. 100-103. 2008.

ANCIÃES, M.; MARINI, M.A. Fluctuating asymmetry as indicator of fragmentation effects on birds from Brazilian Tropical forests. **Jour. Of Appli. Ecol**., v.37, p.1013-1028. 2000.

ANDRADE-LIMA, D. Esboço fitoecológico de alguns "brejos" de Pernambuco. Boletim Técnico. **Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco**, v. 8, p. 3-9, 1966.

ANDRADE, M.C. **O processo de ocupação do espaço regional do Nordeste**. 2. ed. Recife: Sudene, 1979.

ASSIS, J.S. de. Razões e ramificações do desmatamento em Alagoas. In: DINIZ, J.A.F.; FRANÇA, V.L.A. (Org.). **Capítulos de geografia nordestina**. Aracaju: UFS, p. 325-355, 1998.

BADYAEV, A.V.; FORESMAN, K.R.; FERNANDES, M.V. Stress and developmental stability: vegetation removal. **Ecology**, v.81, n.2, 2000.

BALMFORD, A.; JONES, I.L.; THOMAS, A.L.R. On avian asymmetry: evidence of natural selection for symmetrical tails and wings in birds. Proc. Of the Royal Soc. 252:245-251, 1993.

BARBOSA, M.R.V. Estudo florístico e fitossociológico da Mata do Buraquinho, remanescente de mata Atlântica em João Pessoa-PB. 1996. **Tese (Doutorado)** - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BROWN, K.S. Jr.; BROWN, G.G. Habitat alteration and species loss in Brazilian forests. In: T.C. Whitmore e J. A. Sayer (Eds.). **Tropical Deforestation and Species Extinction**, p. 129-142, 1992. Chapman and Hall, Londres.

CÂMARA, I.B. de G. Plano de acão para a Mata Atlântica. Reserva da Biosfera da Mata Atlântica: Roteiro para a conservação de sua biodiversidade. **Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. São Paulo, n.4, p.34, 1966.

CÂMARA, I.G. State of the Hotspots - Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas - **Breve história da Conservação da Mata Atlântica**. Parte II, Cap. VI. P. 31. Belo Horizonte, 2005.

CARDOSO, J.T.A Mata Atlântica e sua conservação. **Encontros Teológicos**, v. 31, p. 441-458, 2016.

CLARKE, G.M. The genetic basis of developmental stability. II. Asymmetry of extreme phenotypes revisited**. Am Nat**, v. 146, p.708–725, 1995.

CLARKE, G.M. Developmental stability and fitness: the evidence is not quite so clear. **Am. Nat**, v.152, p. 762–66, 1998.

COIMBRA FILHO, A.F.; CÂMARA, I.G. Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Brasil. **Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (FBCN)**, Rio de Janeiro, 1996.

COSTA, R.N. Medindo os Impactos do Glifosato e do Estresse Ambiental com uma Régua: Assimetria Flutuante e Mortalidade em Girinos (Amphibia: Anura) de Physalaemus cuvieri (Leptodactylidae) e Scinax fuscomarginatus (Hylidae). 2014. 83p. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Federal de Goiás, Goiás.

CRNOBRNJA-ISAILOVIC, J.; ALEKSIC, I.; BEJAKOVIC, D. Fluctuating asymmetry in Podarcis muralis populations from Southern Montenegro: detection of environmental stress in insular populations. **Amphibia-Reptilia**, v. 26, p. 149-158. 2005.

CROSBY, A.W. **Imperialismo ecológico: a expansão biológica da Europa: 900-1900**. São Paulo: Companhia das Letras, 1993.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA e INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1995-2000**. Relatório final. São Paulo, 2002.

GIULIETTI, A.M.; FORERO, E. Diversidade taxonômica e padrões de distribuição das angiospermas brasileiras. **Acta Botanica Brasilica**, V. 4, p. 3-10, 1990.

GRILLO, A.A.S. As Implicações da Fragmentação e da Perda de Habitats sobre a Assembleia de Árvores na Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco. Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2005.

HANDFORD, P. Heterozygosity at enzyme loci and morphological variation. **Nature**, v. 286, p. 261–262, 1980.

HOELZEL, A.R.; GOLDSWORTHY, S.; FLEISCHER, R.C. Population genetic structure. In: Marine Mammal Biology: An Evolutionary Approach (A.R. Hoelzel, ed.), p. 325– 354. Blackwell Science, Oxford. 2002.

HOFFMANN, A.A.; PARSONS, P.A. Evolutionary Genetics and Environmental Stress. Oxford University Press, Oxford. 1991.

HOLANDA, S.B.; BÓRIS, F. (Org.). História geral da civilização brasileira. São Paulo: DIFEL, 1962.

HOLANDA, S.B de. Raízes do Brasil. São Paulo: Companhia das Letras, 1999.

HOSKEN, D.J.; BLANCKENHORN, W.U.; WARD, P.I. Developmental stability in yellow dung flies (Scathophaga stercoraria): Fluctuating asymmetry, heterozygosity and environmental stress. J Evol Biol. 2000.

HUTCHISON, D.W.; CHEVERUD, J.M. Fluctuating asymmetry in tamarin (Saguinus) cranial morphology: intra- and interspecific comparisons between taxa with varying levels of genetic heterozygosity. Journal of Heredity 86:280–288. 1995.

KITEVSKI, B.; PYRON, M. Symmetry of banding pattern in banded killifish (Fundulus diaphanus) from Presque Isle Bay, Lake Erie. **Journal of Freshwater Ecology**, v.18, p.229-233, 2006.

KLIGENBERG, C.P. Analyzing fluctuating asymmetry with geometric morphometrics: concepts, methods, and applications. **Symmetry**, v.7, p. 843–934, 2015.

LEAMY, L.J.; ROUTMAN, E.J.; CHEVERUD, J.M. Quantitative trait loci for early and late developing skull characters in mice: a test of the genetic independence model of morphological integration. **Am. Nat**, v. 153, p. 201–14, 1999.

LEARY, R.F.; ALLENDORF, F.W. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: Implications for conservation biology. **Trends Ecol. Evol**, v.4, p. 214–217, 1989.

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

LERNER, I.M. Genetic Homeostasis. London, U.K.: Oliver and Boyd, 1954.

LYRA-NEVES, R.M.; AZEVEDO JÚNIOR, S.M.; TELINO-JUNIOR, W.R.; LARRAZÁBA, M.E.L. Comunidade de aves da Reserva Estadual de Gurjaú, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 21 (3): p. 581–592, 2004.

McNEELY, J. Economics and biological diversity: developing and using economic incentives to conserve biological diversity. Gland: IUCN. P. 108, 1988.

MENDES, G.M. Assimetria Flutuante como bioindicadora de mudanças ambientais e interações tróficas em Cecropia pachystachya (Urticaceae). Universidade Federal de Minas Gerais Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre. **Dissertação de Mestrado**. 53p. Belo Horizonte, 2014.

MITTERMEIER, R.; GIL, M.; HOFFMANN, J.; PILGRIM, J.; BROOKS, C. G. Hotspots Revisited: **Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. Cemex. Washington, DC, 2004.

MOLLER, A.P.; HÖGLUND, J. Patterns of fluctuating asymmetry in avian feather ornaments: implications for models of sexual selection. Proc R Soc Ser B v. 245, p.1–5, 1991.

MØLLER, A.P.; SWADDLE, J.P. Developmental stability and evolution. Oxford: Oxford University Press, 1997.

NETO, F.G. De C. Ecologia, assimetria flutuante e dimorfismo sexual em pequenos mamíferos em remanescentes de floresta atlântica do nordeste do brasil. Universidade federal de Pernambuco. Centro acadêmico de Vitória. Programa de pós-graduação em saúde humana e meio ambiente – PPGSHMA. **Dissertação de mestrado**. Vitória de santo antão, 2013.

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

PALMER, R.A. Fluctuating asymmetry analysis: a primer. In: MARKOW, T.A. (ed.) Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications. London: Kluwer Academic, 1994.

PALMER, A.R. Detecting publication bias in meta analyses: a case study fluctuating asymmetry and sexual selection. Am Natur, v. 154, p.220-233, 1999.

PALMER, A.R.; SRTOBECK, C. Fluctuating asymmetry analyses revisited. In: POLAK, M. (ed.). Developmental Instability: causes and consequences. New York: Oxford University Press, p.279-319, 2003.

PALMER, A.R. Symmetry breaking and the evolution of development. **Science**, v.306, p. 826– 833, 2004.

PARSONS, P.A. Fluctuating asymmetry: an epigenetic measure of stress. **Biol. Rev**, v.65, p.131-145. 1990.

PARSONS, P.A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress. **Heredity**, v. 68, p.361-364, 1992.

PERZIGIAN, A.J. Fluctuating dental asymmetry: variations among skeletal populations. **Am J Phys Anthropology**, v.47, p.81- 88, 1977.

POLAK, M.; TRIVERS, R. The Science of symmetry in biology. **Trends Ecol. Evol**, v. 9, p. 122-124, 1994.

POLAK, M. **Developmental instability: causes and consequences**. New York, NY: Oxford University Press. 2003.

RANTA, P.; BLOM, T.; NIEMELA, J.; JOENSUU, E.; SIITONEN, M. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, p. 385-403, 1998.

RASMUSON, M. Fluctuating asymmetry indicator of what? **Heredity**, v. 136, p. 177–183, 2002.

REIS, E.F.; PINTO, N.S.; CARVALHO, F.G.; JUEN, L. Efeito da Integridade Ambiental Sobre a Assimetria Flutuante em Erythrodiplax basalis (Libellulidae: Odonata) (Kirby). EntomoBrasilis. Dezembro, 2011.

SANSEVERINO, A.M.; MESSIMIAM, J.L. Assimetria flutuante em Organismos Aquáticos e sua aplicação para avaliação de Impactos Ambientais. **Oecologia Brasiliensis**, v.12, n.3, p. 382-405, 2008.

SARRE, S.; DEARN, J.D.; GEORGES, A. The application of fluctuating asymmetry in the monitoring of animal population. **Pacific Conservation Biology**, v.1, p. 118-122, 1994.

SEIXAS, L.B. Assimetria flutuante: uma ferramenta para a avaliação dos impactos sobre a ictiofauna na Baía da Guanabara, RJ. Instituto de Biociências – IBIO/UNIRIO. Programa de Pós- graduação em Ciências Biológicas (Biodiversidade Neotropical) - PPGBIO. 61p. **Dissertação (Mestrado)**. Rio de Janeiro, 2014.

SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. **Nature**, v. 404, p. 72-74, 2000.

SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M. The Future of the Atlantic Forest in Northeastern Brazil. **Letters Conservation Biology**, 15(4): 819-820, 2001.

SIMMONS, L.W.; TOMKINS, J.L. KOTIAHO, J.S.; HUNT, J. Fluctuating paradigm. **Proc. R. Soc. Lond. B**., v.266, p. 593–595, 1999.

SOS MATA ATLÂNTICA: fundação: dossiê Mata Atlântica: **Projeto Monitoramento Participativo da Mata Atlântica**. [S.l.], 2001. Avaible in em: <http://www.bioatlantica.org. br/Dossiê%20Mata%20 Atlântica %202001.pdf>. Acesso em: 09 junho 2019.

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

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. Colonização de clareiras naturais na floresta Atlântica no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 20, p. 57-66, 1997.

TABARELLI, M.; DA SILVA, J.M.C.; GASCON, C. et al. Forest Fragmentation, Synergisms and the Impoverishment of Neotropical Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1419- 1425, 2004.

TABARELLI, M.; AGUIAR, A.V. Fragmentação e Perda de Habitats na Mata Atlântica ao Norte do Rio São Francisco. In: **Fragmentos de Mata Atlântica do Nordeste: biodiversidade, conservação e suas bromélias**. por: J.A.S. Filho e E.M.C. Leme (Ed.). Rio de Janeiro, RJ: Andrea Jakobsson Estúdio. p. 80-99, 2006.

TABARELLI, M., AGUIAR, A.V.; RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; PEREZ, C.A. Prospects for Biodiversity Conservation in the Atlantic Forest: Lessons from Aging Human-Modified Landscapes. **Biological Conservation**, v. 143 (10), p. 2328-2340, 2010.

VALLADARES, G.; CAGNOLO, L.; SALVO, A. Forest Fragmentation Leads to Food Web Contraction. **Oikos**., v. 121 (2), p. 299-305, 2012.

VOGEL, H.F., ZAWADZKI, C.H., SILVA, G.S., RAMOS, C.C.O.; BECHARA, F.C. Assimetria flutuante: dados iniciais de uma taxocenose de sabiás (Passeriformes, Turdidae) ocorrentes em um parque urbano na região centro-sul do estado do Paraná, Brasil. Publ. UEPG Ci. **Biol. Saúde**, Ponta Grossa, v.18, n.1, p. 25-30, 2012.

VAN DONGEN, S. Fluctuating asymmetry and developmental instability in evolutionary biology: past, present and future. **J Evol Biol**, v.19, p.1727–1743, 2006.

VAN VALEN, L. A study of fluctuating asymmetry. **Evolution**, v. 16, n.2, p.125-142, 1962.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.A.J.; BATISTA, J.L.F. Dynamics and restoration of forest fragments in the brazilian Atlantic moist forest. In: W.F. Laurance. e R.O. Bierregaard Jr. (Eds.). Tropical Forest Remnants - **Ecology, management, and conservation of fragmented communities**. The University of Chicago Press, Chicago. p. 351-365, 1997.

VØLLESTAD, L.A; HINDAR, K.; MØLLER, A.P. A meta-analysis of fluctuating asymmetry in relation to heterozygosity. **Heredity**, v. 83 (Pt 2), n. May 1998, p. 206– 18, 1999.

WADDINGTON, C. H. Canalization of development and the inheritance of acquired characters. **Nature**, v. 150, p.563–565, 1942.

WADDINGTON, C. H. **Principles of embryology**. London: Allen & Unwin, 1956.

WAYNE, R.K.; MODI, W.S.; O´BRIEN, S.J. Morphological variability and asymmetry in the cheetah (Acinonyx jubatus), a genetically uniform species. **Evolution**, v. 40, n. 1, p. 78-85, 1986.

WEGE, D.C.; LONG, A.J. **Key areas for threatened birds in the neotropics**. Cambridge, England: BirdLife International, 1995.

4- ARTIGO CIENTÍFICO

1.1- Artigo científico I

Artigo científico a ser encaminhado a Revista [**Journal of ornitology**].

Todas as normas de redação e citação, doravante, atendem as estabelecidas pela referida revista, exceto o idioma.

EFEITO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL SOBRE A ASSIMETRIA DE AVES PASSERIFORMES DE MATA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO BRASIL

Phillipe Knippel do Carmo Graça [1]. Wellington Hannibal[2]. Alexandre Mendes Fernandes[3]

Resumo

Variações ambientais causam estresse significativo nos organismos, o que, em tese, pode ser estimado através da assimetria flutuante, uma técnica de biomonitoramento simples e barata que se mostra uma boa ferramenta para medir mudanças no desenvolvimento ontogenético. Neste trabalho avaliamos a possibilidade de estresse ambiental através da análise da assimetria flutuante em caracteres (asa e tarso) de passeriformes da Mata Atlântica do Nordeste do Brasil. Nós testamos se a fragmentação florestal tem influencia na assimetria das aves. Comparamos a média da assimetria flutuante da asa e do tarso das aves entre os fragmentos florestais de Mata Atlântica de diferentes tamanhos e áreas contínuas da Amazônia. Para isso, medimos asas e tarsos de 403 espécimes de coleções científicas. A Amazônia apresentou mais indivíduos com valores de assimetria flutuante menores ou iguais a zero que a Mata Atlântica, ou seja, indivíduos simétricos. A hipótese de que o bioma Amazônia teria valores médios de assimetria flutuante inferiores aos da Mata Atlântica. A análise de assimetria flutuante confirmou a assimetria na média de 14 dos 18 fragmentos, mas sem evidência estatística significativa de aumento nos índices de assimetria flutuante em fragmentos menores em detrimento de áreas maiores para as variáveis (comprimento das asas e comprimento do tarso). Assim, a hipótese de que indivíduos coletados em fragmentos menores apresentariam níveis mais altos de assimetria flutuante em caracteres não foi corroborada. Isso pode ser porque os passeriformes podem estar se dispersando entre os fragmentos e podem ter se desenvolvido em outras áreas, usando os fragmentos apenas como ponto de forrageamento. Fragmentos maiores que apresentam níveis mais altos de assimetria flutuante postulam que o estressor ambiental não é o tamanho do fragmento em si, mas algo em torno dele que de alguma forma afeta o bem-estar dos passeriformes analisados.

Palavras chave Avifauna . Biodiversidade . Bioindicadores . Conservação . Estresse ambiental

Introdução

A homeostase ou estabilidade do desenvolvimento é a habilidade que um organismo possui para resistir a perturbações ambientais e genéticas durante seu desenvolvimento de forma a produzir um fenótipo geneticamente predeterminado (Waddington 1942; Clarke 1995). A assimetria flutuante (AF) é uma das diversas formas de se medir a estabilidade do desenvolvimento de um organismo, sendo muito utilizada (Palmer e Strobeck 1986; Silva 2007; Pereira 2011; Bagliano 2012; Costa 2014).

A AF se caracteriza por pequenas e aleatórias variações entre os lados direito e esquerdo nos organismos com simetria bilateral (Palmer 1994), e se constitui de pequenos desvios, que apresentam um padrão de variação com distribuição normal, a partir de uma média zero, o que evidencia a tendência natural dos indivíduos de apresentarem caracteres simétricos (Palmer 1999; Polak et al. 2003).

Uma vez que a estabilidade do desenvolvimento atenuaria acidentes durante a ontogenia, a assimetria flutuante reflete a eficiência dos mecanismos da mesma (Clarke 1995), pois fornece uma medida de quão bem um indivíduo pode amortecer seu desenvolvimento contra o estresse ambiental externo e genético durante esse processo (Van Valen, 1962; Palmer 1994).

Os inúmeros termos usados na descrição de padrões observáveis de assimetria flutuante e os usados para descrever seus processos e causas foram revisados por Palmer (2003), as agrupando em assimetria flutuante, antissimetria e assimetria direcional, porém, estas duas últimas são assimetrias adaptativas.

A assimetria direcional ocorre quando naturalmente e de forma não randômica ocorre um desenvolvimento maior de um caracter em um ou mais lados do plano de simetria do que do outro (Van Valen 1962), sendo a maioria dos indivíduos assimétricos na mesma direção (Palmer 2004). Estatisticamente, a média das diferenças entre as características repetidas é diferente de zero (Palmer e Strobeck 2003).

A antissimetria distingue da assimetria direcional, pois, mesmo existindo predomínio da assimetria entre os indivíduos, os desvios se manifestam sem tendenciar a alguma direção (Klingenberg 2015; Graham 2015). A média das diferenças entre as características repetitivas permanece zero, como na simetria, porém a dispersão das frequências das diferenças em torno da média é alta, a curva de frequências das diferenças é platicúrtica, tendenciando ao surgimento — considerando características pareadas — de duas modas diferentes nos valores de desvio (Palmer 1994). Enquanto a assimetria direcional é representada por uma curva com desvio para um dos lados, a antissimetria é representada por uma curva de distribuição de frequências bimodal (Palmer e Strobeck 1986).

Um dos indicadores de impacto ambiental baseado em respostas ambientais é a medição de mudanças no organismo ao longo do desenvolvimento ontogenético, uma ferramenta favorável ao biomonitoramento (Palmer 1994; Kiteviski e Pyron 2006). Populações sob stress genético ou ambiental demonstraram elevados níveis de AF em diversas espécies (Badyaev et al. 2000; Leamy et al. 1999). Um dos exemplos de stress ambiental é a fragmentação florestal, em que uma grande e contínua parcela da vegetação é dividida em dois ou mais fragmentos isolados, e funciona como ilhas cercadas por ambientes que diferem dos originais (Wilcove et al. 1986; Carvalho 2009). Tal processo pode acarretar entre outros efeitos a interrupção do fluxo gênico, diminuição do tamanho efetivo populacional o que favorece o cruzamento consanguíneo, sendo considerado uma das maiores ameaças a biodiversidade global (Primak e Rodrigues 2001).

O padrão da AF consiste de pequenos desvios de determinado caractere em dada população, sendo representado pela distribuição de frequências da diferença entre os lados do caractere apresentando um padrão de variação com distribuição normal, a partir de uma média zero (Palmer 1999; Polak et al. 2003), evidenciando a tendência natural de indivíduos apresentarem caracteres simétricos. Quando essa tendência é alterada pode apontar para um aumento na frequência de indivíduos assimétricos dentro da população.

Pesquisas utilizando a assimetria flutuante vêm recebendo um interesse maior devido em grande parte a sua importância por aferir o estresse do desenvolvimento e do ambiente (Leary e Allendorf 1989; Clarke 1995, 1998; Lens et al. 1999) , e no contexto de seleção natural e sexual (Balmford et al. 1993; Polak e Trivers 1994; Moller e Swaddle 1997; Simmons et al.1999, Lutterschmidt et al. 2016; Rocha 2018), sendo sugerido como uma ferramenta capaz de observar o nível de estresse genético (elevado endocruzamento, baixa taxa de heterozigose ou hibridação) e ambiental (poluentes, parasitas, baixa oferta alimentar, fragmentação de habitats) a que populações naturais estão sujeitas (Parsons 1990,1992; Sarre et al. 1994).

Populações sob stress genético ou ambiental demonstraram elevados níveis de assimetria flutuante em diversas espécies como aves (Gonçalves 2012) e morcegos (Neto et al. 2013), girinos (Costa 2014) e libélulas (Reis et al.

2011), com os níveis de AF nos organismos sendo afetados por diversos tipos de estresse ambiental (Badyaev et al. 2000; Leamy et al. 1999).

Embora os estudos fornecendo evidências ao associar estresse genético ou ambiental e assimetria flutuante em plantas sejam escassos, estes já podem ser encontrados com mais frequência na literatura, tendo forte embasamento teórico na monitoria do ambiente, já que a assimetria em organismos sésseis pode refletir com mais precisão os efeitos ambientais do que os dados obtidos de organismos móveis (Handford 1980). Indivíduos de Cecropia pachystachya (Embaúba) apresentaram os maiores níveis de assimetria flutuante em folhas quando em áreas sob influência da atividade mineradora e de estrada com tráfego intenso (Mendes 2014).

Variados tipos de estresse genético podem atuar afetando os níveis de AF, segundo alguns estudos, e a relação entre assimetria flutuante e heterozigosidade é o alvo da discussão de muitos deles (Hoelzel et al. 2002; Hosken et al. 2000; Vøllestad et al. 1999; Wayne et al. 1986). Mesmo que muitos destes estudos indiquem existir uma relação entre a diminuição da variabilidade genética e o aumento da assimetria (Hoelzel et al. 2002; Hutchison e Cheverud 1995; Wayne et al. 1986), pesquisas em amostras provenientes de laboratório em condições controladas (Hosken et al. 2000) comparando a diferença de variabilidade genética entre elas (Hosken et al. 2000), não demonstram relações significativas entre assimetria e heterozigosidade. A relação entre assimetria flutuante e heterozigosidade foi relacionada em 41 estudos em uma meta-análise (Vøllestad et al. 1999) e apenas em seres ectodérmicos houve significativa correlação. Tal hipótese se baseia no argumento de que os seres endodérmicos experimentam geralmente um ambiente interno bem controlado durante o desenvolvimento embrionário, já os ectodérmicos atravessam grandes flutuações ambientais (Novak et al. 1993). Os autores desses estudos afirmam que a assimetria não deve ser utilizada de forma generalizada como uma ferramenta para averiguar estresse genético, mesmo que seja uma forma útil para estimar estresse ambiental. Sendo assim, mudanças nos padrões de assimetria não devem ser relacionadas diretamente e exclusivamente com a heterozigosidade dos indivíduos de uma população, sofrendo influência por um conjunto de fatores, como as diferentes formas de estresse ambiental.

Estudos sugerem que o biomonitoramento de ambientes naturais e inalterados pode ser verificado através da assimetria flutuante em populações de aves (Anciães e Marini 2000; Almeida 2003; Vogel et al. 2012.), e ainda que alguns estudos indiquem que a avifauna pode também ser analisada quanto ao nível de assimetria flutuante nas circunstâncias de hábito de espécie e seleção sexual, resultados diferentes foram obtidos para tal. Espécies relativamente mais aéreas demonstraram uma tendência a apresentar menores níveis de assimetria flutuante para asa do que espécies de hábitos mais terrestres, e machos de espécies não migratórias – ainda que de forma sútil – apresentaram um design levemente mais assimétrico do que machos de espécies migratórias (Balmford et al. 1993). Espécies de aves com ornamentos sexuais na cauda apresentaram grande grau de assimetria flutuante em tais ornamentos, além de relação negativa entre o tamanho do ornamento e o grau de assimetria (Moller e Höglund 1991). A andorinha de bando (Hirundo rustica) em estudo sobre variações em suas penas da cauda apresentaram correlação negativa entre assimetria flutuante e sucesso no acasalamento (Rasmuson 2002). Porém, outras pesquisas não encontraram evidências convincentes entre uma relação negativa consistente do tamanho do caracter e assimetria flutuante em penas ornamentais de cauda (Balmford et al. 1993).

Entende-se, portanto, que os processos da seleção natural determinam significativamente os níveis de assimetria flutuante em uma população, onde é menos provável que a assimetria flutuante ocorra em caracteres funcionais significativos ou partes de um caractere que esteja estritamente relacionado ao desempenho do organismo (Balmford et al. 1993), sendo a assimetria flutuante dependente da forma e importância funcional de caracteres como as asas e a cauda por exemplo, e tendo significados diversos conforme variam as espécies.

A Mata Atlântica Brasileira é considerada atualmente uma das regiões ecológicas mais ricas em termos de diversidade biológica do planeta (Fundação SOS Mata Atlântica 2015), e sua diversificação ambiental considerável garantida por um grupo de fitofisionomias que condicionam a biodiversidade, geram condições apropriadas para a evolução de um complexo biótico de natureza vegetal e animal abundante (MMA 2013). Mesmo com tamanha diversidade biológica, a Mata Atlântica brasileira desde a chegada dos europeus por volta do ano 1500 vem perdendo grandes áreas devido a ocupação humana (Myers et al. 2000; Brooks et al. 2002) por conta da expansão da agricultura e da pecuária, especialmente nos últimos cinqüenta anos (Ranta et al. 1998; Costa e Futemma 2006).

Uma vez que tem se demostrado que o uso da AF é uma boa ferramenta de índice biológico para testar o efeito da fragmentação florestal sobre comunidades de aves e como ainda são escassos os estudos realizados em fragmentos florestais de Mata Atlântica, principalmente do Nordeste, a presente pesquisa teve como principal

objetivo comparar os valores de AF de asas e tarsos de passeriformes entre 18 fragmentos florestais de Mata Atlântica do Nordeste, e entre a mata atlântica e a Amazônia, testando a hipótese de que aves que habitam fragmentos menores apresentam maiores níveis de AF e aves de áreas contínuas como a Amazônia são menos assimétricas que aves de áreas fragmentadas como a Mata Atlântica.

Material e Métodos

Área de estudo

Para testar o efeito da fragmentação em aves passeriformes, medimos peles de pássaros depositadas nas coleções ornitológicas do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MUZUSP) e Laboratório de Ornitologia da Universidade Federal de Pernambuco (ORNITOLAB), coletados em 18 fragmentos de Mata Atlântica no nordeste do Brasil (Fig. 1) e em florestas de Terra Firme da Amazônia. Utilizamos medidas de tamanhos dos fragmentos em hectares de pesquisas anteriores, nos anos mais próximos da data que as aves mensuradas no presente trabalho foram coletadas, no máximo três anos de diferença.
As localidades foram agrupadas conforme o tamanho de sua área em hectares em fragmentos menores e maiores, sendo os fragmentos menores os que possuem seu tamanho total aproximado entre 0,5 hectares e 500 hectares, e os fragmentos maiores entre 550 hectares e 3,500 hectares (Tabela 1).

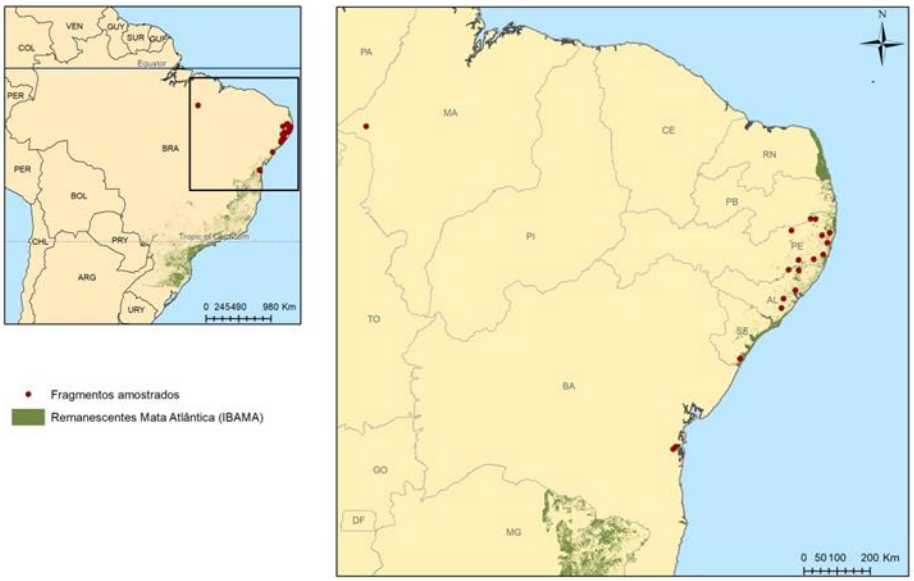

Fig. 1 Mapa da área de estudo demonstrando a localização dos 18 fragmentos florestais estudados (Mata Atlântica, Nordeste, Brasil) (Obtido pelo Google Earth)

Tabela 1 Caracterização da área

Fragmento	Localidade	Área (Ha)	Coordenadas	Descrição
Fragmento 1	Engenho Água Azul, Timbaúba, PE	600	07º35'43"s 35º22'11"w	Área considerada pelo MMA como prioritária para conservação biológica e pesquisas científicas (2000, 2002), ainda não possui respaldo legal de proteção como Unidade de Conservação, mesmo ocorrendo em suas matas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (Beltrão e Macedo, 1994; Pereira, 2009). Remanescente da Floresta Ombrófila

				Submontana, é relicto notável da formação vegetacional na Floresta Atlântica Nordestina (Barros et al., 2002).
Fragmento 2	Mata do Estado, São Vicente Férrer, PE	600	07º35’20”s 35º30’20”w	É um dos últimos remanescentes da Mata Atlântica na Zona da Mata Norte do estado de Pernambuco (Pietrobom e Barros, 2003), sendo considerado como brejo de altitude por Rodal et al. (1998) e Floresta Ombrófila Densa por Veloso e Góes Filho (1982) dada a cobertura original da área que foi classificada como Mata Úmida pelo CONDEPE (1990)
Fragmento 3	Engenho Coimbra, Ibateguara, AL	3.500	08°58’56.1’’s 35°51’51.7’’w	Sua extensão em cobertura vegetal o destaca dos demais, mas se encontra em uma matriz de plantações de cana-de-açúcar. As florestas se apresentam como ilhas verdes circundadas por canaviais, advento do Programa Brasileiro do Álcool na década de 1970. A área se encontra no limite entre a Floresta Ombrófila e a Floresta Estacional (Assis, 2000), possui clima sazonal e precipitação média anual de 1442.5mm.
Fragmento 4	Gurjaú, Cabo de Santo Agostinho, PE	744,47	08°14’21.7’’s 35°3’0.4’’w	Responde por cerca de 69% da área da Reserva Ecológica de Gurjaú, região de rico acervo ambiental, cultural e histórico (FIDEM, 1993). A região apresenta clima tropical chuvoso com precipitações totais anuais em torno de 2.400mm e elevada umidade relativa do ar (entre 79,2 e 90,7%) e temperatura média anual de 24,7°C (FIDEM, 1993).
Fragmento 5	Usina Colônia (antiga Usina Frei Caneca), Jaqueira, PE	630.42	08°42’37’’s 35°50’01’’w	Um dos fragmentos pertencentes à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Frei Caneca (Brasil, 2002), ocupa a superfície do planalto da Borborema, formando um complexo florestal de grande valor para a conservação (Ministério do Meio Ambiente, 2014, Bencke et al., 2006). Possui clima Tropical quente úmido com precipitação média anual de 1000 a 1500 mm (rppnfreicaneca.org.br). A RPPN Frei Caneca abriga importantes remanescentes de floresta ombrófila aberta e estacional semidecidual, sendo considerada uma área prioritária para a conservação da diversidade biológica e classificada como de extrema importância biológica (Conservational International et al., 2000; Tabarelli et al., 2006).
Fragmento 6	Torre do Microondas, Taquaritinga do Norte, PE	42,95	07°54’20’’s 36°01’28’’w	O município de Taquaritinga do norte se insere na unidade do Planalto da Borborema, formada por maciços e outeiros altos, com altitudes variando entre 650 a 1.000 metros. Ocupa uma área de arco que se estende do sul de Alagoas até o Rio Grande do Norte. O relevo é

				geralmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados. A vegetação é formada por Florestas Subcaducifólicas e Caducifólicas, próprias das áreas agrestes. O clima é do tipo Tropical Chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em Janeiro/Fevereiro com término em Setembro, podendo se adiantar até outubro.
Fragmento 7	Estação Ecológica de Tapacurá, São Lourenço da Mata, PE	776	08°2’27.7’’s 35°11’46.4’’w	Possui vegetação tipo Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (mata seca) (Veloso et al., 1991). O clima é do tipo As com precipitação média anual de 1.300 mm, e cinco meses secos com menos de 100 mm de precipitação (Condepe, 2000).
Fragmento 8	Mata do Crasto, Santa Luzia do Itanhy, SE	900	11°23’8.8’’s 37°25’10.4’’w	Um dos remanescentes mais importantes e preservados do estado foi decretado Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) EM 1989 pela Portaria N° 442/89 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. A retirada de madeira e a caça que ainda ocorrem cladestinamente e de forma sistemática na área são as maiores ameaças do local (Sousa, 2003).
Fragmento 9	Engenho Sacramento, Água Preta, PE	80	08°41’08.4’’s 35°24’51.1’’w	O relevo possui topos planos, vertentes íngremes e vales estreitos (Beltrão et al., 2005; Lucena, 2009). O clima local é do tipo Tropical Chuvoso, quente e úmido, com chuvas no outono e inverno (Beltrão et al., 2005).
Fragmento 10	Aldeia, Camaragibe, PE	0,50	07°58’19.9’’s 34°59’2’’w	A temperatura médIa anual é de 25,1°C e a precipitação média mensal é de 171mm com máxima de 377 mm e mínima de 37 mm (ITEP, 2004).
Fragmento 11	Usina Leão, Mata do Cedro. Rio Largo, AL.	500	09°31’37’’s 35°54’44’’w	Possui vegetação de Floresta Alta Ombrófila com muitos emergentes e grandes palmeiras de *Attalea*. A floresta fica no entorno de um grande reservatório. Existe atividade de caça ilegal na região (Silveira et al., 2004).
Fragmento 12	Sirinhaém, Usina Trapiche, PE	272	08°33’21’’s 35°05’55’’w	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (IBGE, 1992). O clima da região é do tipo As, tropical chuvoso (Vianello e Alves, 2000), com temperatura média anual de 25,1°C.
Fragmento 13	Mata do Pacangê, Reserva Michelin, BA.	550	13°50’28,9’’s 39°14’28’’w	A reserva possui um histórico longo de perturbação humana, principalmente por plantio de lavoura de mandioca e extração intensiva de madeira. A floresta é um mosaico de vegetação secundária em diferentes estágios de regeneração e vegetação primária em diferentes intensidades, com as florestas mais intactas nos cumes e inclinações mais íngremes. O restante da reserva consiste em zonas úmidas e pequenos fragmentos florestais e áreas com plantações de seringueira

				(Hevea brasiliensis), vegetação pioneira e enriquecida com florestas nativas (Flesher, 2015).
Fragmento 14	Mata da Pancada Grande, Reserva Michelin, Ituberaba, BA.	172	13°47’03,8’’s 39°10’25,9’’w	Composta por diversos ambientes do bioma Mata Atlântica, incluindo importantes remanescentes de floresta ombrófila (Boas-Bastos e Bastos, 2009). Sua precipitação média é de 2.051 mm e temperaturas entre 18° e 30°C.
Fragmento 15	Fazenda Itabaiana, Açailândia, MA.	1000	05°04,5’s 47°35,2’’w	Fragmento de Floresta Tropical secundária, possui áreas circunvizinhas caracterizadas por Eucalyptus sp. e pastagens (Brasileiro et al., 2008).
Fragmento 16	Usina Coruripe, Coruripe, AL.	68,6	10°02’55,5’’s 35°16’29,2’’w	Formada por uma Floresta Ombrófila Aberta com transição para Floresta Estacional Semidecidual (Santos e Frizzone, 2006), o clima da região é do tipo tropical chuvoso com verão seco e umidade relativa do ar em torno de 80%.
Fragmento 17	Usina Porto Rico, São Miguel dos Campos, AL.	1000	09°45’29’’s 36°14’17’’w	Um dos fragmentos mais representativos da região, com matas em diferentes estágios de regeneração. Apresenta uma fisionomia típica de mata primária, com árvores que ultrapassam 30 m de altura e com troncos muitos grossos. Este fragmento apresenta mamíferos dispersores de grande porte como Guariba (*Allouata belzebu*) e Macaco-Prego (*Cebus sp*.) (Roda e Santos, 2005).
Fragmento 18		600	08°58’15,7’’s 36°06’15,7’’w	A Usina se distribui em fragmentos florestais completamente inseridos numa matriz de cana-de-açúcar (Santos et al., 2008). O clima é tropical quente e úmido, (IBGE, 1985). A vegetação é de Floresta Ombrófila Aberta Baixo Montana, com árvores emergentes de até 35 m de altura e dossel aberto com presença de muitas palmeiras (Veloso et al., 1991).

As análises da comparação entre os passeriformes dos fragmentos de Mata Atlântica com os do bioma Amazônia foram feitas com a utilização de indivíduos coletados em florestas de Terra Firme na Amazônia. Os materiais coletados não continham coordenadas geográficas, sendo sua identificação composta apenas por número de tombo, estado e cidade, e alguns casos o tipo de ambiente onde a aves foi coletada, como por exemplo, Floresta de Terra firme ou Igarapés de água preta. Todos as aves amazônicas do presente estudo são restritas à ambientes de Florestas de Terra.

Uma vez que a AF reflete um padrão de variação da diferença entre o lado direito e esquerdo (D-E) com a variação distribuída normalmente sobre uma média 0, após os dados serem normalizados por transformação logarítmica (Log) (Cowart e Graham 1999). Foi realizado o histograma da distribuição da frequência dos valores de AF dos caracteres asa e tarso (direito e esquerdo) de cada indivíduo, e o teste paramétrico t- student, para as amostras da Mata Atlântica e da Amazônia (Palmer e Strobeck 2001).

A Amazônia foi tratada como um grupo controle por se tratar de uma área de florestas contínuas e menos impactadas que a Mata Atlântica. O processo de antropização na Amazônia foi iniciado mais tardiamente, no final dos anos 1960 (Achard e Hansen 2013), enquanto na Mata Atlântica tal efeito se iniciou no início dos anos 1500 (Coimbra-filho e Câmara 1996) e assim esperamos que o efeito da fragmentação florestal seja mais evidente nas aves da Mata Atlântica que da Amazônia.

Caracteres mensurados

As aves passeriformes mensuradas na coleção científica do Laboratório de Ornitologia (OrnitoLab) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da coleção ornitológica do museu da USP (Muzusp) foram coletados em diferentes fragmentos florestais com vegetação de Mata Atlântica, no nordeste do Brasil e Floresta Amazônica.
Para aferir a AF, estruturas bilaterais foram selecionadas levando-se em consideração a importância funcional desta (Allenbach 2011). Assim, foram analisados dois pares de caracteres mais comuns usados em pesquisas com assimetria flutuante em aves: asas e tarsos.
Foram feitas medições de asas e tarsos utilizando um compasso, que depois de posicionado na área anatômica que se desejava mensurar, foi colocado sobre uma régua para obter a medida de tal região do corpo (Fig. 2).

Fig. 2 Forma de medição das asas e tarsos das amostras

Inicialmente, as asas e os tarsos dos indivíduos foram medidos três vezes para obtenção da média aritmética de cada carácter na seguinte ordem: asa direita, tarso direito, asa esquerda, tarso esquerdo. Cada repetição de medida foi feita fechando-se o compasso entre as medidas para diminuir o erro de medição. Ao medir as asas, estas foram feitas da porção proximal do úmero até a rêmige primária mais distal, e os tarsos foram mensurados a partir da junta entre o tarso e a tíbia até o final da última escama completa do tarso (Evans et al. 1995). Apenas um pesquisador realizou as medições, diminuindo desta forma as chances de erro. Indivíduos com anomalias no tarso e muda nas rêmiges, não foram medidos.

Análises Estatísticas, Índices de AF e erros de mensuração

A AF foi medida seguindo os cálculos determinados por Palmer e Strobeck (1986), e usadas por Anciães e Marini (2000). A AF de cada carácter foi calculada para cada indivíduo (AF) como:
AF = (D-E)/[(D+E)/2], sendo D = média aritmética das medidas do lado direito, e E = média aritmética das medidas do lado esquerdo.
Padrões verdadeiros de AF são identificados se os valores de D-E são distribuídos normalmente, com um valor médio que não se desvia significativamente de zero ($p>0.05$), demonstrando desvios aleatórios a partir do fenótipo de simetria bilateral. Ainda segundo Palmer e Strobek (1986), a AF precisa ser distinguida dos outros tipos de assimetria - antissimetria e a assimetria direcional -, sendo o mesmo também utilizado para este fim, já que a confirmação de média zero pelo teste t-Student indica a presença de assimetria flutuante e antissimetria (Oxnevard et al. 2012), e a confirmação da antissimetria é obtida pelo histograma.
Para verificar se a diferença nas médias das medidas do lado direito e esquerdo (D – E) para cada carácter não desvia significativamente de zero (Oxnevard et al. 2012) e a normalidade da distribuição dos dados dos índices de AF (D – E), foi utilizado um teste *t- Student* para uma amostra *(t-Student single sample*) e feito o histograma.
Uma vez que as médias da medida dos lados direito e esquerdos são iguais a zero e apresentam distribuição normal - sendo a existência da antissimetria sugerida quando há a confirmação de uma distribuição bimodal (Palmer 1994) -, é descartada a ocorrência de assimetria direcional e antissimetria, respectivamente. A

antissimetria é capaz de aumentar os sinais de AF causando um falso resultado (Palmer e Strobeck 1992; Palmer 1994), e não é recomendado a apliação de qualquer correção sobre as estruturas que apresentem antissimetria (Palmer 1994; Van Dongens et al. 1999).
Quando a média diferente de zero ($p<0.05$) é confirmada pelo teste *t-Student* indica a ocorrência de assimetria direcional (Oxnevard et al. 2012), sendo necessário confirmar aplicando a correção desta (Palmer 1994; Graham et al. 1998).
Para avaliar a significância dos índices de AF em áreas menores de fragmentos florestais em detrimento de áreas maiores, realizou-se um teste *t-Student* para amostras independentes (Zar 1999)
A dependência da AF com o tamanho da medida original foi testada para cada amostra através de uma correlação de Pearson entre o |AF| e a média do lado direito. A repetibilidade foi calculada através de uma analise de variância (ANOVA unicaudal), para que a existência de erros de medição fosse investigada, entre as três medidas realizadas por caractere (peles taxidermizadas- asa e tarso) e lado (direito e esquerdo).
As análises foram feitas no programa R (R Core Team 2019), com nível de significância de 5%.

Resultados

Análise comparativa da assimetria flutuante em passeriformes de Floresta Amazônica e Mata Atlântica

Foram mensuradas 403 peles de Passeriformes de 12 espécies e 7 famílias em 43 áreas de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil. Para a comparação dos valores médios de AF de asas e tarsos entre fragmentos florestais de Mata Atlântica de diferentes tamanhos e áreas contínuas de floresta amazônica, utilizou-se 395 indivíduos de Mata Atlântica de 12 espécies, e 84 indivíduos de Amazônia de 10 "espécies irmãs"(Tabela 2).

Tabela 2 Espécies utilizadas na análise de comparação entre assimetria flutuante (AF) (nomenclatura de acordo com CBRO 2014) de passeriformes de Mata Atlântica e da Amazônia e seus números de exemplares distribuídos

Mata Atlântica	Amazônia
Espécie	
Chiroxiphia pareola pareola (n=45)	*Chiroxiphia pareola pareola* (n=1)
Xenops minutus minutus (n=16)	*Xenops minutus minutus* (n=7)
Platyrinchus mystaceus (n=17)	*Platyrinchus coronatus* (n=17)
Conopophaga cearae (n=7)	*Conopophaga aurita aurita* (n=2)
Thamnophilus cearulescens (n=12)	*Thamnophilus Aethiops Juruanus* (n=10)
Myrmeciza ruficauda (n=3)	*Myrmoderus ferrugineus eluta* (n=5)
Automolus leucophthalmus (n=7)	*Automolus Paraensis* (n=19)
Tangara cyanocephala (n=4)	*Tangara chilensis chilensis* (n=8)
Formicarius colma colma (n=1)	*Formicarius colma colma* (n=8)
Euphonia chlorotica (n=4)	*Euphonia chlorotica* (n=7)
Tangara fastuosa (n=1)	

Não houve erros associados às medidas feitas, já que não há diferenças entre as três medidas realizadas para os exemplares da Mata Atlântica e Amazônia. As medidas feitas em cada carácter (asa e tarso) tiveram variação com baixo erro de medida (Fig.3 e Fig. 4).

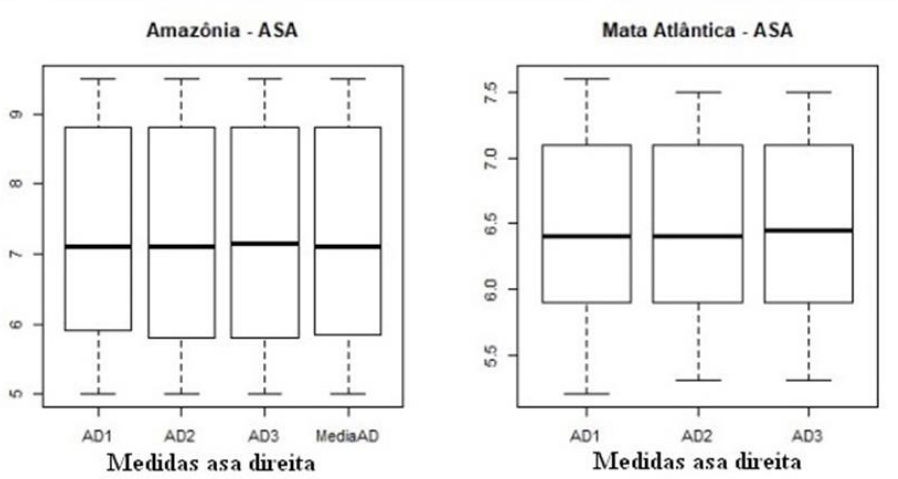

Fig. 3 Relação das medidas do comprimento das asas direita e esquerda a partir de uma ANOVA

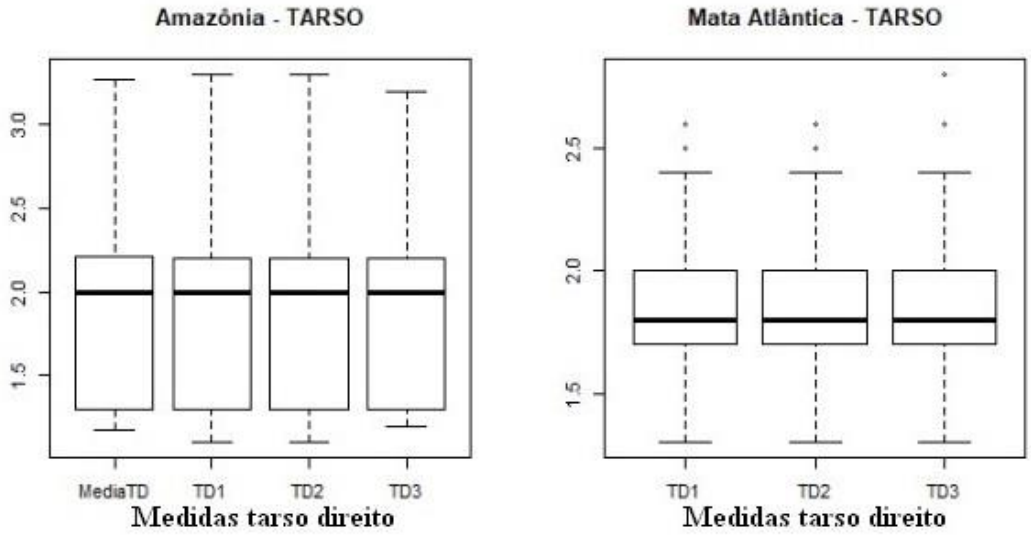

Fig.4 Relação das medidas do comprimento dos tarsos direito e esquerdo a partir de uma ANOVA

Os passeriformes dos biomas Mata Atlântica e Amazônia não apresentaram dependência para os valores de AF entre os caracteres analisados (asa e tarso) (Fig. 5 e Fig. 6).

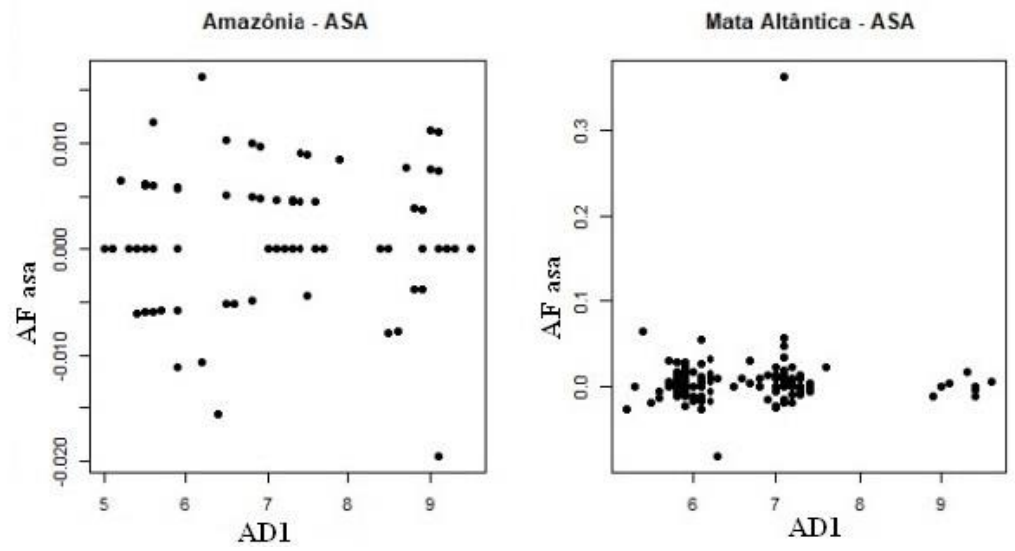

Fig. 5 Dependência da assimetria flutuante (AF) em relação a asa direita

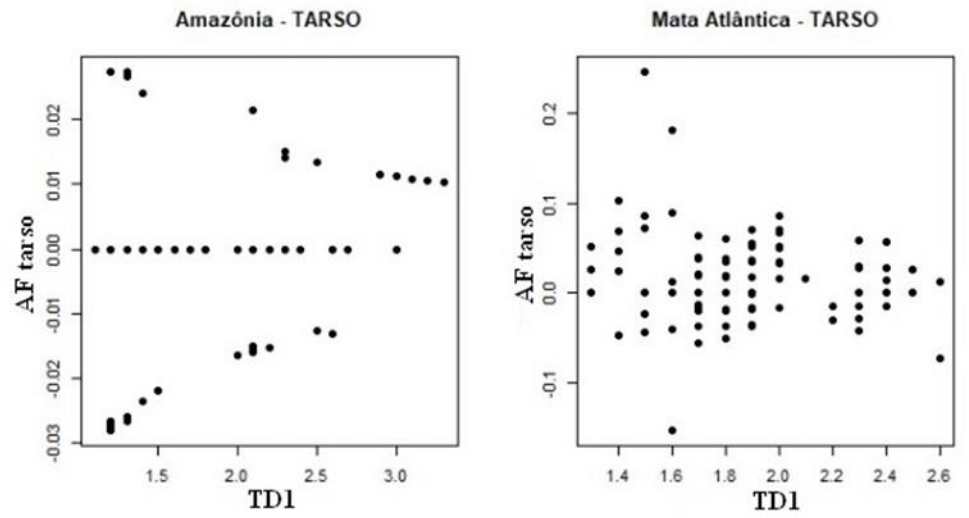

Fig. 6 Dependência da assimetria flutuante (AF) em relação ao tarso direito

Os indivíduos caracterizando a comunidade amostrada na Mata Atlântica do Nordeste apresentaram distribuição normal (Fig. 7) confirmada pelo teste Shapiro-Wilk (Tabela 3), e médias da distribuição de frequência dos valores dos caracteres analisados não diferindo de 0, para ambos os caracteres (tabela 4). Assim, assume-se que em tal localidade está ocorrendo a AF, uma vez que foram confirmados os pressupostos da normalidade.

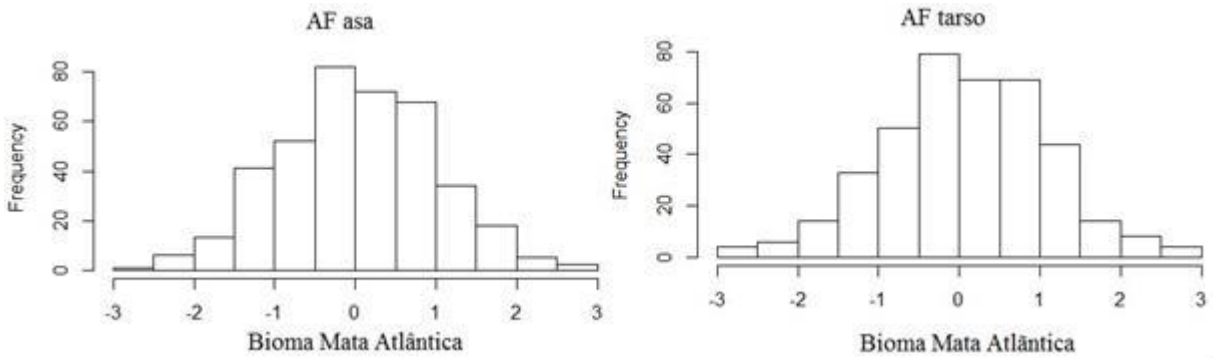

Fig. 7 Curvas de normalidade com histogramas representativos da distribuição das frequências dos valores individuais de assimetria entre os lados direito e esquerdo de cada caracter, asa e tarso respectivamente, para o bioma Mata Atlântica

Tabela 3 Teste de Shapiro-Wilk confirmando a normalidade da distribuição das frequências dos valores Individuais de assimetria entre os lados direito e esquerdo de cada carácter, asa e tarso respectivamente, para a área analisada

Bioma	Normalidade			
Mata Atlântica	Teste de Shapiro		p	
	Asa	Tarso	Asa	Tarso
	0.99739	0.99651	0.7945	0.5494

Tabela 4 Teste *T-student* confirmando as médias da distribuição de frequência dos valores individuais dos caracteres asa e tarso (lado direito e esquerdo) para a área analisada

Bioma	Média=0			
Mata Atlântica	T		p	
	Asa	Tarso	Asa	Tarso
	0.96871	1.468	0.3333	0.1429

O grupo controle (Amazônia) apresentou muitos valores zeros, já que muitos indivíduos apresentaram valores de AF não diferindo da simetria. O fato dos dados terem muitos zeros já indica que mesmo aplicando uma transformação, os problemas com relação ao afastamento de pressupostos permanecem devido à alta frequência de valores únicos (no caso, o zero) que estarão presentes seja qual for à transformação aplicada.
Ao verificar o pressuposto da normalidade através do histograma, não foi possível gerar um gráfico, logo, não foi possível atestar a normalidade pela curva da normalidade para o grupo controle. Uma vez que a AF precisa ser verificada se atende aos pressupostos da normalidade para se utilizar então testes paramétricos, optou-se por comparar as médias de AF entre os biomas Mata Atlântica e Amazônia através do Teste para Proporções.
Uma vez que os possíveis desvios da assimetria causados pela AF são propostos na literatura como o resultado em módulo da diferença dos lados direito e esquerdo (D-E) (Nagamitsu et al. 2004), através do Teste de Proporções foi verificado quais dos biomas (Mata Atlântica e Amazônia) apresentaram médias de AF para asa e tarso tendo mais valores menores ou iguais a zero, e superiores à zero. O teste de proporções indicou que o bioma Mata Atlântica obteve indivíduos com valores de AF (Tabela 5), tanto para asa quanto para tarso, superiores a zero em relação ao bioma Amazônia.

Tabela 5 Teste de Proporções demonstrando a proporção de valores individuais de assimetria flutuante (AF) dos caracteres asa e tarso (lado direito e esquerdo) que apresentaram valores médios menores ou iguais à zero ou maiores que zero, para as áreas analisadas. Mata Atlântica e Amazônia.

Bioma	Caratere	Valores médios de AF (valores menores que ou iguais a 0)	Valores médios de AF (valores maiores do que 0)
Mata Atlântica	Asa	48,4%	51,6%
	Tarso	41,5%	58,5%
Âmazônia	Asa	64,3%	35,7%
	Tarso	85,7%	14,3%

Análise comparativa da assimetria flutuante em pássaros de fragmentos da Mata Atlântica de diferentes tamanhos

Foram mensuradas 403 peles de Passeriformes de 12 espécies e 7 famílias em 43 áreas de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil. Para as análises de AF entre as comunidades, foram utilizadas somente os fragmentos que obtivemos o tamanho a partir de medidas feitas em tais fragmentos em pesquisas anteriores, no mesmo ano em que as aves mensuradas no presente trabalho foram coletadas, ou com no máximo 3 anos de diferença. Assim, para essa análise utilizamos 128 espécimes de Passeriformes de 10 espécies e 6 famílias coletadas em 18 fragmentos de floresta do bioma da Mata Atlântica no Nordeste do Brasil (Tabela 6), classificados entre pequeno e grande fragmento (Tabela 7).

Tabela 6 Espécies utilizadas na análise de assimetria flutuante (AF) comparativa entre comunidades de aves de fragmentos de diferentes tamanhos (nomenclatura de acordo com CBRO 2014) e seus números de exemplares distribuídos por fragmentos florestais analisados

Espécie	Fragmentos Florestais																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Chiroxiphia pareola	4	5	17	3	-	-	1	-	3	1	5	1	-	-	-	-	2	3
Xenops minutus	1	1	6	1	1	-	1	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-

Platyrinchus mystaceus	1	5	4	3	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dysithamnus mentalis	-	2	5	-	2	-	-	-	-	-	4	-	-	-	2	16	3	2
Thamnophilus cearulescens	-	1	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
Tangara fastuosa	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Myrmeciza ruficauda	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Automolus leucophthalmus	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	-	-	-	-
Tangara cyanocephala	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formicarius colma	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 7 Caracterização das áreas estudadas: TF=tamanho do fragmento (P=pequeno, G=Grande); Área=tamanho aproximado da área do fragmento em hectares; N=número de aves mensuradas em cada localidade; Eng=Engenho; U=Usina; E.E= Estação Ecológica; Fz=Fazenda; S=São; Rsv=Reserva

Área de estudo	TF	N
Engenho Água Azul	G	6
Mata do Estado	G	14
Engenho Coimbra	G	36
Gurjaú	G	7
Usina Colônia (antiga Usina Frei Caneca)	G	9
Torre do Microondas	P	5
Estação Ecológica de Tapacurá	G	9
Mata do Crasto	G	1
Engenho Sacramento	P	5
Aldeia	P	1
Usina Leão	P	9
Sirinhaem	P	1

Mata do Pacange	G	10
Mata da Pancada Grande	P	1
Fazenda Itabaiana	G	2
Usina Coruripe	P	2
Usina Porto Rico	G	5
Usina Serra Grande	G	12

A variação encontrada entre as três medidas realizadas em cada carácter (asa e tarso), considerando o método utilizado no presente trabalho, indicou baixo erro de medida para todas as amostras analisadas justificadas pela alta repetibilidade. Portanto, os valores de F foram baixos e consequentemente os valores de p foram altos mostrando a não diferença significativa (Lado direito asa: F=0.061, p=0.940; Lado direito tarso: F=0.013, p=0.987; Lado esquerdo asa: F=0.067, p=0.935; Lado esquerdo tarso: F=0.04, p=0.96).
Não existiu associação (dependência) entre o comprimento dos caracteres asa e tarso e os valores de AF. Os valores da correlação são baixos e o valor do p é alto, demonstrando a não significância (Lado direito asa: Valor da correlação=-0.014, p=0.868; Lado direito tarso: Valor da correlação=-0.143, p=0.106).
Após a retirada dos *outliers*, os histogramas da normalidade da distribuição obtidos das frequências dos valores individuais de assimetria entre os lados direito e esquerdo de cada carácter para a distribuição normal, determinaram que os caracteres analisados nos dezoito fragmentos amostrados (Fragmentos maiores e menores) atenderam satisfatoriamente ao pressuposto da normalidade (Fig. 8).

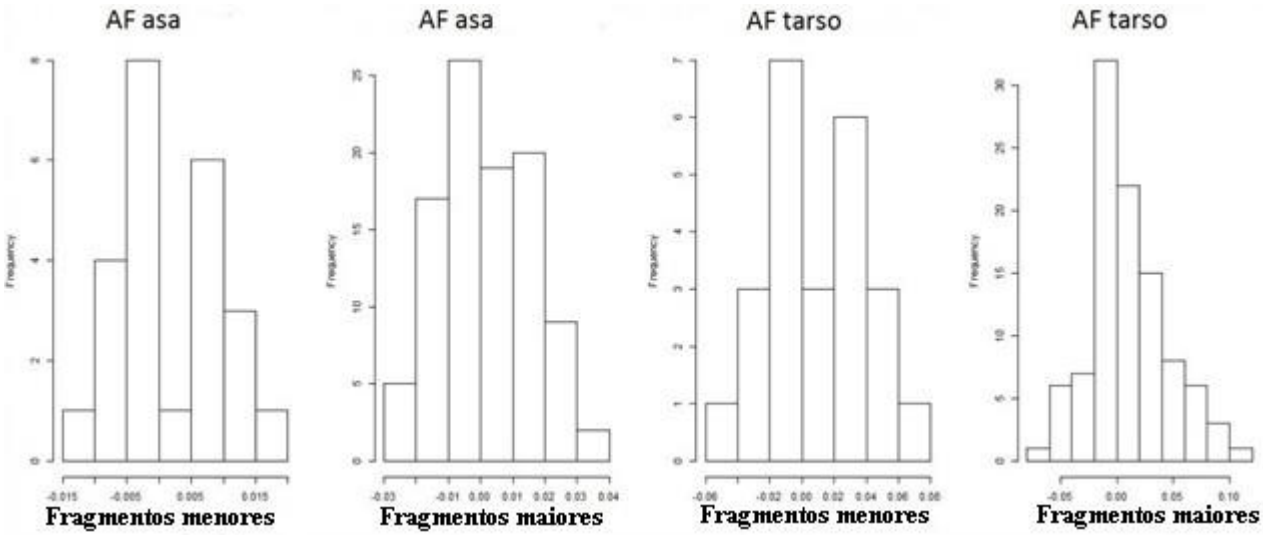

Fig. 8 Curvas de normalidade com histogramas representativos da distribuição das frequências dos valores individuais de assimetria entre os lados direito e esquerdo de cada caracter, asa e tarso respectivamente, para as áreas analisadas

A normalidade da distribuição das frequências dos valores individuais de assimetria entre os lados direito e esquerdo de cada carácter, foi confirmada através do teste Shapiro-Wilk (Fragmentos maiores asa: Teste de Shapiro=0.983, p=0.240; Fragmentos maiores tarso: Teste de Shapiro=0.984, p= 0.289; Fragmentos menores asa: Teste de Shapiro=0.971, p=0.710; Fragmentos menores tarso: Teste de Shapiro=0.955, p=0.351). O *teste t-student* apresentou resultado significativo apenas para o caractere tarso nos fragmentos maiores, com as médias da distribuição de frequência dos valores individuais dos caracteres analisados diferindo de 0 (Fragmentos maiores asa: Teste t=1.964, p=0.052; Fragmentos maiores tarso: Teste t=3.711, p= 0.000; Fragmentos menores

asa: Teste t=1.611, p=0.120; Fragmentos menores tarso: Teste t=1.564,p=0.131), e demonstrou o desvio dos dados em relação à distribuição normal, o que a priori indica a presença da assimetria direcional nestas estruturas (Palmer 1994).

Quando ocorrem médias diferentes de zero ao aplicar o teste *t-student*, é necessário que se aplique a correção da assimetria direcional (Palmer 1994; Graham et al. 1998), pois quando as medidas de um determinado lado de um caracter são predispostas a serem maiores que as do outro (assimetria direcional), mas os valores médios são inferiores ao desvio da média de D-E (AF=0,798√(Var D-E)), considera-se que a assimetria direcional não interfere de forma significativa na interpretação da variação da AF (Palmer e Strobeck 2003). Sendo assim, verificou-se se a diferença entre as medidas dos lados direito e esquerdo (D-E) era menor que o valor calculado com o emprego do índice AF=0,798√(Var D-E), sugerido por Palmer e Strobeck (2003). A diferença entre os lados de um organismo, nas estruturas que apresentam assimetria direcional, pode ser explicada como uma característica hereditária (Palmer e Strobeck 1992; Palmer 1994).

Uma vez que o valor calculado para AF=0,798√(Var D-E) foi superior àquele obtido para a média da diferença entre os lados direito e esquerdo do caractere testado (tarso) (Tabela 8), considerou- se que a assimetria direcional não interferia significativamente no resultado da variação da AF (Palmer e Strobeck 2003), desta forma pode-se concluir que os caracteres mensurados realmente apresentam AF.

Tabela 8 Significância (p) do teste *t-Student* para médias significativamente diferentes de zero dos lados direito e esquerdo para o caractere morfométrico analisado (tarso) de passeriformes de fragmentos maiores de Mata Atlântica do Nordeste. Valores significativos (em negrito) indicam uma possível assimetria direcional, que após ser aplicada a correção da assimetria direcional (valor em itálico), esta não demonstrou inferir sobre assimetria flutuante (AF)

Caratere	Média	Teste-t	AF=0,798√(Var R-L)	p
AF tarso de fragmentos maiores	0.012	3.711	*0.027*	**0.000**

Ainda que a AF possa ser identificada nas amostras, não há evidência significativa de aumento nos índices de AF em fragmentos menores em detrimento de fragmentos maiores para asa (t= 0.126, df= 65.87, p= 0.899) e tarso (t= 0.245, g.l= 123, p= 0.806) (tabela 9), uma vez que maiores e menores níveis de AF para asa e tarso foram encontrados tanto em fragmentos de grandes hectares quanto em pequenos hectares (Fig. 9).

Tabela 9 Variação da Assimetria Flutuante (AF) em relação ao fragmento dos passeriformes estudados, para os dois caracteres analisados

Fragmentos	Caracteres	Média AF	Teste	Valor de p
Menores	Asa	0.002	T=0.126	0.899
	Tarso	0.010		
Maiores	Asa	0.002	T=0.245	0.806
	Tarso	0.012		

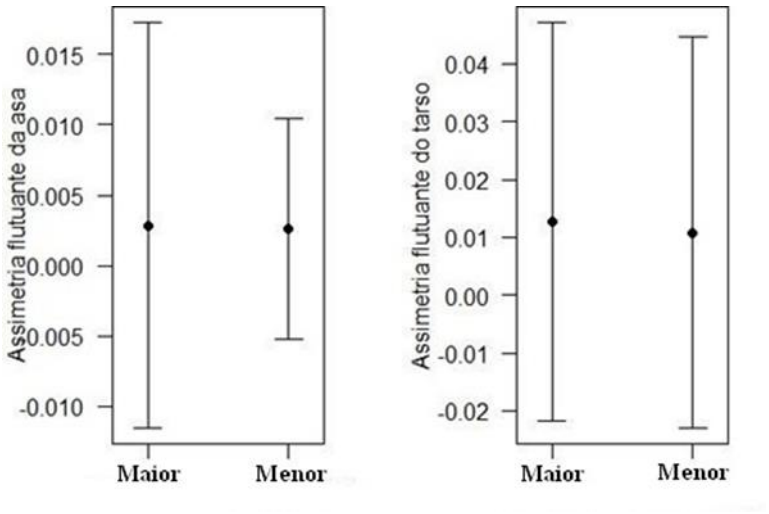

Fig. 9 Média da assimetria flutuante (AF) (média + desvio padrão) em asa e tarso entre as áreas analisadas (fragmentos menores e maiores)

Portanto, a hipótese de que fragmentos com áreas menores possuem indivíduos sob maior stress devido à redução de habitat mais intensa, apresentando maiores níveis de AF (caracteres asa e tarso) em detrimento de fragmentos maiores não foi corroborada, mesmo que a assimetria flutuante pudesse ser identificada presente nas amostras.

Os efeitos do tamanho do fragmento florestal nos níveis relativos de AF variaram entre as localidades (Tabela 10). Dos 18 fragmentos analisados, 2 não apresentaram valores médios de AF para asa (fragmento 2 e 4) e 2 para tarso (fragmento 9 e 14).

Tabela 10 Valores da média de Assimetria Flutuante (AF) para os fragmentos analisados. Valores apresentados em módulo.

Fragmento	Área em hectare	Média AF asa	Média AF tarso
1	600	0,010	0,035
2	600	0	0,020
3	3.500	0,005	0,002
4	744.47	0	0,006
5	630.42	0,004	0,018
6	42.95	0,013	0,028
7	776	0,015	0,044
8	900	0,011	0,072
9	80	0,016	0
10	0.5	0,004	0,018
11	500	0,011	0,016
12	272	0,009	0,034
13	550	0,007	0,026
14	172	0,003	0
15	1000	0,005	0,077
16	68.6	0,003	0,018
17	1000	0,015	0,031

18	600	0,010	0,004

Discussão

Assimetria flutuante: Amazônia vs. Mata Atlântica

Neste estudo foi encontrada AF para os caracteres asa e tarso nos passeriformes capturados nos biomas Mata Atlântica e Amazônia. A Amazônia, em relação à Mata Atlântica, apresentou mais indivíduos com valores de AF (asa e tarso) menores ou iguais à zero (Tabela 8). Assim, a hipótese de que o bioma Amazônia apresentaria valores médios de AF (asa e tarso) inferiores aos valores da Mata Atlântica foi corroborada atestada através do Teste de Proporções. Esse teste foi realizado após a confirmação dos pressupostos da normalidade e médias iguais à zero para o bioma Mata Atlântica. Isso indica que a porcentagem de indivíduos com resultado de AF sendo menor ou igual a zero, tanto para asa quanto para tarso, foi superior nos provenientes do bioma Amazônia.
Devido a Mata Atlântica sofrer com a fragmentação por desmatamento desde a colonização, no ano de 1500 (Ranta 1998), a pressão antrópica é mais significante em organismos cujo processo de ontogenia ocorreu nesses habitats, do que em locais alterados mais recentemente, como a Amazônia Partindo deste princípio, os resultados indicam que a AF foi útil como ferramenta bioindicadora de comparação de processos de fragmentação. Salienta-se que a Mata Atlântica esta reduzida a 7,84% de sua área (cerca de 102.000 Km2) (Apremavi 2018) sendo o segundo ecossistema que mais sofre ameaça de extinção do mundo, sendo superado apenas pelas quase extintas florestas da ilha de Madagascar na costa da África, só restando fragmentos florestais acima de 100 hectares considerados em boa conservação (Brasil 2018). Já a Amazônia brasileira, de 1970 a 2010 cerca de 20% de sua vegetação foi desmatada (Lovejoy e Nobre 2018).
A AF já foi aplicada em estudos anteriores considerando a fragmentação na Amazônia. Palma (2017) analisou a AF em tarsos de passeriformes de diferentes tamanhos de fragmentos da floresta Amazônica, porém os resultados obtidos não sustentaram as previsões iniciais de aumento da assimetria em fragmentos de tamanhos menores. Uma das prováveis explicações apresentadas por Palma (2017) para a não significância dos resultados encontrados aponta para as áreas analisadas permanecerem altamente arborizadas, com a matriz composta em grande parte por floresta secundária regenerada de cerca de 30 anos. Mesmo que exista a fragmentação no local e suas consequências sejam evidentes através do tempo, os fragmentos são separados de vastas florestas contínuas por apenas 80 metros e são protegidos de outras ameaças que costumam acompanhar a fragmentação de paisagens dominadas pelo homem como a queimada, a caça e a exploração madeireira.

Assimetria flutuante e fragmentação florestal da Mata Atlântica

Nossos resultados indicam ausência de relação entre o tamanho do fragmento e assimetria. Esse resultado pode estar relacionado à dispersão dos pássaros entre diferentes fragmentos e a presença próxima de outros fragmentos mais preservados. As espécies de aves amostradas nos fragmentos menores com baixo valor de índice de AF podem ter se desenvolvido em outras áreas menos fragmentadas e utilizando os fragmentos pequenos apenas como ponto temporário de forrageamento, o que explicaria a ausência de assimetria. Uma hipótese alternativa é que a provável AF nestes locais seja controlada pelos mecanismos de homeostasia de desenvolvimento que ocorre em nível celular e corporal (Bagliano e Baccaro 2011). Esses mecanismos de regulação do corpo garantem que os possíveis efeitos de mudanças das condições externas sejam mínimos para os organismos, mantendo constantes as condições internas necessárias para a vida (Dobzhansky 1973).
Outra possibilidade para a ausência de relação entre AF e fragmentos de tamanhos diferentes é que populações de fragmentos menores e maiores não estão sofrendo stress da mesma maneira, podendo este vir de outra fonte que não o causado pela fragmentação como, por exemplo, a existência de uma fonte próxima de poluição. Assim, a falta de relação entre o tamanho do hectare e a AF não deve ser interpretado como prova de que não exista estresse significativo no sistema em particular (Tomkins e Kotiaho 2001). A não detecção de diferença nos valores de AF entre os fragmentos pode ser explicada ainda pela possibilidade de que todos os fragmentos de Mata Atlântica utilizados no presente estudo possuam um tamanho ecologicamente pequeno e o stress seja refletido de maneira semelhante entre os fragmentos analisados não existindo diferença entre os fragmentos maiores e menores, assumindo-se que não existam mais áreas contínuas na Mata Atlântica.
Estudos que comparam a AF entre fragmentos florestais e áreas contínuas demonstram aves de florestas contínuas com níveis de assimetria mais baixos que as dos fragmentos (Cuervo e Restrepo 2007; Anciães e Marini 2000), tal qual o resultado do primeiro objetivo desta pesquisa, que demonstrou que o número de indivíduos simétricos do bioma Amazônia (AF=0) foi proporcionalmente maior do que os do bioma Mata

Atlântica, sendo a proporção de indivíduos deste bioma com valor de AF superior a zero maior do que na Amazônia. Importante ressaltar que no nordeste brasileiro não existem fragmentos de Mata Atlântica grandes, sendo que o maior fragmento de Mata Atlântica do Nordeste utilizado nesse estudo possui apenas 3.500 ha, ao passo que Anciães e Marini (2000) utilizaram dados de aves amostradas em fragmentos de floresta da Mata Atlântica de 70.000 ha e o consideraram como "área contínua".

Efeito da matriz sob a assimetria flutuante em aves passeriformes

Os resultados mostraram que dependendo da comunidade, os valores médios de AF diminuíram, aumentaram ou não tiveram variação em relação ao tamanho da área do fragmento. Tais resultados não corroboraram com a hipótese sugerida de que fragmentos menores apresentariam aumento nos valores de AF, do mesmo modo que trabalhos anteriores que abordaram os efeitos da fragmentação em locais de diferentes tamanhos em relação a AF de avifauna (Lens et al. 1999; Vangestel e Lens 2011; Vogel 2012). Assim, o processo de fragmentação nas localidades estudadas pode ser passível de não ser a causa expressiva do estresse sofrido pelos passeriformes, ao menos não tendo capacidade de causar alterações no desenvolvimento dos indivíduos.

Ainda que o processo de fragmentação nos locais estudados na Mata Atlântica do Nordeste seja notável, alguns dos fragmentos estudados possuem características ambientais que podem justificar a ausência de relação entre o estresse nas comunidades dessas áreas. Por exemplo, a matriz inteira do fragmento 7, uma Estação Ecológica de 776 ha, é circundada por plantações de cana de açúcar e assentamentos rurais (Veloso et al. 1991). Espécies florestais só conseguem atravessar uma matriz entre os fragmentos se existirem corredores ligando os fragmentos entre si, ou alguma vegetação capaz de protegê-los durante a travessia, aumentando a permeabilidade da matriz (Antogiovanni; Metzger, 2005). Assim, o tipo de vegetação da matriz determina como ela irá atuar como uma barreira às espécies (Gascon et al. 2009; Antongiovanni e Metzger 2005). Sabe-se que áreas com árvores esparsas, plantações de soja, pequenas porções de campo e campo com gado já se diferenciam bastante da vegetação florestal original de ilhas verdes, podendo dificultar o deslocamento de aves mais especialistas em relação ao uso do habitat.

Alguns resultados apresentados por fragmentos de áreas maiores tiveram altos valores de AF. O fragmento 15 (1000 ha) possui áreas circunvizinhas caracterizadas por plantações de *Eucalyptus sp* e pastagens (Brasileiro et al. 2008) e o fragmento 17 (1000 ha) sofreu no passado corte seletivo severo afim de gerar energia para a usina e outros fins. Soma-se ainda o fato de que em toda a mata pode-se observar caçadores e em parte dela clareiras e muitas árvores podres, além dela ser rodeada por estradas bastante utilizadas e com trânsito constante de caminhões e ônibus, não só durante a época de safra (Roda e Santos 2005); ameaças secundárias que geralmente acompanham a fragmentação em paisagens (Laurance et al. 2011).

Apesar de sua importância considerando seus aspectos físicos, riqueza biológica e potencial hídrico, a região do fragmento 1 (600ha) encontra-se ameaçada por processos antrópicos, como expansão da agricultura para o cultivo de bananas e uvas e pela introdução de espécies exóticas invasoras como o nim e o eucalipto (SEMAS 2011). O fragmento 2 (Mata do Estado) possui grande importância por ser um dos últimos remanescentes da Mata Atlântica do estado de Pernambuco e ter um ótimo estado de conservação - incluindo a presença de nascentes hídricas -, sustentando uma diversidade específica de fauna e flora (Pietrobom e Barros 2003), incluindo espécies bioindicadoras de boa qualidade ambiental, com sua vegetação bem conservada e em estágio avançado de regeneração natural (Lucena 2009; Pereira 2009). A diferença dos índices de AF encontrada entre esses fragmentos de mesmo tamanho pode ser explicada pelas diferenças ambientais entre as áreas e o entorno das mesmas, ou ainda pelas características ecológicas ou morfológicas das aves mensuradas, sendo necessários estudos adicionais.

Assimetria e ecologia das aves

Alguns estudos sugerem que o aumento ou não da AF está relacionado a grupos de características particulares dos organismos adequados para tal investigação, bem como entre seus caracteres bilaterais utilizados no desempenho (Eggert e Sakaluk 1994; Lens et al. 2002), ainda que tenham relação íntima com diversos agentes estressores bióticos, abióticos e genéticos com potencial para acarretar desvios na simetria de caracteres bilaterais (Somarakis et al. 1997; Kristoffersen e Magoulas 2009; Allenbach 2011; Trokovic et al. 2012).

No fragmento 10 (0,50 ha) foi coletado o indivíduo da espécie onívora *Chiroxiphia pareola* da família Pipridae. Pesquisas anteriores atestam que populações deste pássaro são capazes de se estabilizar em fragmentos florestais por possuírem ampla mobilidade (Uezu et al. 2005; Hansbauer et al. 2008), além de fêmeas serem capazes de se locomover por locais com matrizes não florestais, utilizando áreas grandes, enquanto machos adultos possuem hábitos mais sedentários em comparação às fêmeas e machos jovens (Hansbauer et al. 2008b).

Na nossa pesquisa existem evidências que corroboram um menor efeito da fragmentação florestal em aves do gênero *Chiroxiphia*. Nossos resultados demonstram que os fragmentos que apresentaram os menores valores de AF (onze fragmentos) foram os fragmentos onde foram medidos *Chiroxiphia* (n=45) (Willis 1979).

O fragmento 16 (68.6 ha) seguiu o padrão do fragmento 10, possuindo um dos menores hectares e com a espécie insetívora *Dysithamnus mentalis* apresentando o menor valor médio de AF para asa dentre os fragmentos, e baixo valor médio para tarso, ainda que a AF tenha sido detectada. Registros afirmam que esta espécie é sensível à fragmentação e possui preferência por ambientes de Mata, raramente avistada perto de bordas florestais ainda que seja capaz de frequentar áreas pequenas (<2 ha) com ambientes mais densos, e substrato composto por folhas favorecendo a ocupação por possuírem baixo deslocamento (Sigrist 2009; Stotz 1996; Willis et. al. 1979) e forragearem estratos médios (Stotz et al. 1996). A área do fragmento 16 é formada por diversos fragmentos sem encostas com grande declividade e poucas áreas de várzea (Santos e Frizzone 2006), e o patrimônio florístico das matas da região inclui muitas espécies de alto valor ecológico como o PAU-BRASIL, PAU DE JANGADA, SAPUCAIA, BARBATIMÃO, PAU-FALHA e outras (Santos e Frizzone 2006), observações que podem apontar para uma possível contribuição para a dispersão da espécie e preservação do local.

Vale ressaltar que aves são capazes de se mover pela paisagem, com os juvenis se dispersando após se emplumarem (Vangestel e Lens 2011), o que faz com que algumas espécies ocorram nestes fragmentos devido à dispersão de aves juvenis de outros habitats (Johnson 2011), ou seja, os exemplares que foram capturados em uma determinada área podem não ter se desenvolvido em tal local, ou ainda a alteração de AF apenas na asa indique uma maior pressão da seleção para tornar o tarso mais simétrico do que na asa (Anciães e Marini 2000).

A espécie *Platyrinchus mystaceus* - insetívoro de sub-bosque coletado no fragmento 9 (80ha) -, não apresentou valor médio de AF para tarso (AF=0). Essa ave é um seguidor de FORMIGAS DE CORREIÇÃO, se alimentando dos artrópodes expostos após a passagem das formigas (Rettenmeyer, 1983). Os tarsos são caracteres importantes para a locomoção e o forrageamento de insetívoros no substrato (Miles e Ricklefs 1984) e é possível que esta estrutura seja altamente regulada durante o desenvolvimento para reduzir quaisquer consequências significativas de assimetria nessa característica.

Os resultados obtidos indicam que os valores de AF, fundamentados em medidas de caracteres morfológicos obtidos em asas e tarso de passeriformes de fragmentos atendem aos critérios que Palmer e Strobeck (1986, 2003) propuseram, já que os valores de AF encontrados apresentam distribuição normal além de média diferente de zero, e ainda serem obtidos sem dificuldades com baixo erro de medida e demonstrarem não se correlacionarem de forma positiva com o tamanho dos caracteres analisados, tais quais outros trabalhos sobre o tema (Forbes et al. 1997; Hardersen 2000; Chang et al. 2007, 2009; Lutterschmidt et al. 2016; Rocha 2018).

As alterações causadas na paisagem e seus efeitos sobre os organismos selvagens como a avifauna local são importantes de serem compreendidos para que se faça uma boa gestão e conservação de ambientes antropizados, especialmente em locais com alta biodiversidade e que ao mesmo tempo sofrem por processos de fragmentação antigos, como a Mata Atlântica do Nordeste. Mesmo que algumas pesquisas não tenham apresentado resultados relacionando valores de AF e estresse ambiental, esta continua sendo utilizada como uma ferramenta estratégica útil para estudos de biomonitoramento.

No presente estudo, a AF foi encontrada em passeriformes dos biomas Mata Atlântica e Amazônia, porém através de Teste de Proporções a Amazônia demonstrou ser o que possuía indivíduos simétricos apresentando mais indivíduos com o valor de AF igual a zero. Assim, a AF se mostrou satisfatória como ferramenta para detectar em biomas diferentes prováveis estresses devido à fragmentação, e compará-los.

Porém, na pesquisa apresentada, ainda que a AF pudesse ser identificada nas amostras, não foi observada significância entre os valores desta para asa e tarso nos indivíduos de fragmentos menores em comparação aos indivíduos de fragmentos maiores, demonstrando que os indivíduos sofreram estresse por outras fontes que podem ser do entorno da área ou inerentes aos organismos tais quais táticas de forrageamento, exploração do habitat e relevância do uso do carácter.

A partir dos resultados expostos acima, sugere-se que a escolha de espécies e caracteres mais adequados na aplicação de AF como índice de conservação ambiental pode ser obtida através de estudos adicionais com variáveis ambientais (temperatura, altitude e umidade, por exemplo), características físicas e químicas dos fragmentos e do ambiente do entorno, bem como distância entre os fragmentos e efeito de borda, além de dados sobre a genética, fitness e ecologia dos organismos amostrados.

Referências Bibliográfica

Allenbach DM (2011) Fluctuating asymmetry and exogenous stress in fishes: A review. Reviews in Fish Biology and Fisheries 21:355–376

Almeida RCV (2003) Assimetria flutuante em esqueletos de aves Passeriformes do Estado de Minas Gerais: aspectos e implicações sobre a utilização de coleções osteológicas como objeto

de estudos de variação temporal de comunidades. Dissertação de Mestrado em Zoologia de Vertebrados - PUC Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais

Ambo-Repel R, Lajus DL, Scheneider MJ (2008) Increased heavy metal nutrient contamination does not increase fluctuating asymmetry in the seagrass Halophia ovalis. Ecol. Ind. *:100-103

Anciães M, Marini MÂ (2000) The effects of fragmentation on fluctuating asymmetry in passerine birds of Brazilian tropical forests. Journal of Applied Ecology. 37 (6): 1013-1028

Antongiovanni M, Metzger JP (2005) Influence of the matrix habitats to the occurrence of insectivorous bird species in Amazonian Forest fragments. Biol Conserv 122:441–451

Assis JS (2000) Biogeografia e conservação da biodiversidade – projeções para Alagoas. Maceió. Catavento. 200 p.

Azeredo LMM (2013) Riqueza e diversidade de aves de sub-bosque da reserva biológica de Guaribas. TCC do Bacharelado em Ciências Biológicas - Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil

Badyaev AV, Foresman KR, Fernandes MV (2000) Stress and developmental stability: vegetation removal - Ecology 81(2): 336-345

Bagliano RV, Baccaro CAD (2011) Revisão bibliográfica de assimetria flutuante como indicador de impacto ambiental. Revista Da Católica 3 (6): 216–231

Bagliano RV (2012) Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade 2:1

Balmford A, Jones IL, Thomas ALR (1993) On avian asymmetry: evidence of natural selection for symmetrical tails and wing sin birds - Proc R Soc Lond B 252: 245–251

Barros ICL, Santiago ACP, Xavier SRS, Pietrobom MR, Luna CPL (2002) Diversidade e aspectos ecológicos das pteridófitas (avencas, samambaias e plantas afins) ocorrentes em Pernambuco. In: Tabarelli M and Silva JMC (Orgs.), Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco. Editora Massangana e SECTMA, Recife, Brasil, v. 1, Pp. 153-171

Bencke GA, Mauricio GN, Develey PF, Goerck JM (2006) Áreas importantes para a Conservação das aves no Brasil: Parte I - Estados do Domínio da Mata Atlântica. São Paulo, SAVE Brasil, 494p

Beltrão AL, Macêdo MML (1994) Projeto piloto da Bacia Hidrográfica do Rio Goiana (Macrozoneamento): subsídios ao planejamento integrado da bacia do Rio Goiana: complexo serras do Mascarenhas e Jundiá. Recife, CPRH

Beltrão BA, Mascarenhas J de C, Miranda de JLF et al (2005) Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de São Vicente Férrer, Estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM

Berg A (1997) Diversity and abundance of birds in relation to forest fragmentation, habitat quality and heterogeneity - Bird Study 44:355-366

Bieber AGD, Darrault OPG, Raos C, Melo KK, Leal IR (2006) Formigas, In: Porto KL, Tabarelli M, Almeida-Cortez J (Eds). Diversidade biológica e conservação da Floresta Atlântica ao norte do rio São Francisco. Recife: Editora Universitária da UFPE. Cap. 13, p.244-262

Boas-Bastos SBV, Bastos CJP (2009) Musgos pelurocárpicos dos framentos da Mata Atlântica da Reserva Ecológica da Michelin, município de Igrapiúna, BA, Brasil. II – Hypnales (Bryophyta: Bryopsida). Acta Botânica Brasileira 23(3): 630-643

Brasil (1989) Ministério do Meio Ambiente. Portaria IBAMA nº 91, de 10 de Agosto de 1989

Brasil (2000) Ministério do Meio Ambiente. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da mata atlântica e campos sulinos. Brasília

Brasil (2002) Ministério do Meio Ambiente. Portaria IBAMA nº 91, de 06 de Agosto de 2002

Brasil (2005) Ministério do Meio Ambiente. Diversidade biológica e conservação da Floresta Atlântica ao norte do rio São Francisco. Porto KC, Almeida-Cortez JS, Tabarelli M (Orgs.) – Brasília

Brasil (2011) Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS. Proposta para criação de unidade de conservação na mata de Água Azul - Timbaúba, Vicência e Macaparana. PE. Decreto nº 36.627 de 8 de junho de 2011

Brasil (2013) Ministério do Meio Ambiente. Lições aprendidas na conservação e recuperação da Mata Atlântica: Sistematização de desafios e melhores práticas dos projetos- pilotos de Pagamentos por Serviços Ambientais. Brasília. p. 84

Brasil (2018) Ministério do Meio Ambiente. Mata Atlântica. Disponível em http://www.mma.gov.br/biomas/mata- atlantica. Accessed 20 September 2018

Brasileiro CA, Lucas EM, Oyamaguchi HM et al (2008) Lists of Species. Anurans, Northern Tocantins River Basin, states of Tocantins and Maranhão, Brazil. Check List 4(2): 185–197

Brooks TM, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB et al (2002) Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. Conservation Biology, 16(4), 909–23

Carvalho WAC (2009) Variação espacial da estrutura da comunidade arbórea de um fragmento de floresta semidecídua em Piedade do Rio Grande, MG, Brasil - Rev. Bras. Bot. 30:315-335

Clarke GM (1995) The genetic basis of developmental stability. II. Asymmetry of extreme phenotypes revisited - Am Nat 146:708–725

Clarke GM (1993) Fluctuating asymmetry of invertebrate populations as a biological indicator of environmental quality. Environ Pollut 82:207–211. (PDF) Fluctuating asymmetry

as bioindicator of stress and developmental instability in gafrarium tumidum (ribbed venus clam) from coastal areas of iligan bay, mindanao, philippines. https://www.researchgate.net/publication/281717918_Fluctuating_asymmetry_as_bioindicator_of_stress_and_developmentalinstability_in_gafrarium_tumidum_ribbed_venus_clam_from_coastalareas_of_iligan_bay_mindanao_philippines. Accessed 26 November 2018

Coimbra Filho AF, Câmara IG (1996) Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Brasil. Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (FBCN), Rio de Janeiro

CONDEPE (2000) Base de dados do Estado – Climatologia: Descrição dos tipos. Recife: Governo do Estado de Pernambuco, Instituto de Planejamento de Pernambuco

Costa RC, Futemma CRT (2006) Racionalidade com Compromisso: Os Assentados do Ribeirão Bonito (Teodoro Sampaio-SP) e o Projeto de Conservação Ambiental. Ambiente & Sociedade 9, 128-148

Costa RN (2014) Medindo os impactos do glifosato e do estresse ambiental com uma régua: assimetria flutuante e mortalidade em girinos (Amphibia: Anura) de Physalaemus cuvieri (Leptodactylidae) e Scinax fuscomarginatus (Hylidae). Dissertação de mestrado em Ecologia e Evolução (ICB). Instituto de Ciências Biológicas - ICB (RG). Universidade Federal de Goiás. Goiás

Cuervo AM, Restrepo C (2007) Assemblage and population-level consequences of forest fragmentation on bilateral asymmetry in tropical montane birds, Biological Journal of the Linnean Society, Volume 92, Issue 1, Pages 119–133

Dobzhansky T (1973) Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. The American Biology Teacher, 35(3): 125-129

Eggert AK, Sakaluk SK (1994) Fluctuating asymmetry and variation in the size of courtship food gifts in decorated crickets. American Naturalist. (144):708–716

FIDEM – Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (1993) Monitoramento das Reservas ecológicas da RMR. Recife, Governo do estado de Pernambuco. Série Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente

Forbes MR, Leung B, Schalk G (1997) Fluctuating Asymmetry in Coenagrion Resolutum (Hagen) in Relation to Age and Male Pairing Success (Zygoptera: Coenagrionidae) - Odonatologica, 26(1): 9-16

Gascon C, Williamson GB, da Fonseca GAB (2000) Receding forest edges and vanishing reserves. Science, 288,1356–1358

Gonçalves VF (2012) Assimetria flutuante em aves de ambientes florestais no cerrado mineiro. Instituto de biologia programa de pós-graduação em ecologia e conservação de recursos naturais. Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Dissertação de mestrado

Graham JH, Emlen JM (1998) Directional asymmetry and the measurement of developmental instability. Biological Journal of the Linnean Society, Volume 64, Issue 1, May 1998, Pages 1–16

Graham J, Whitesell M, Fleming II M, Hel-Or H, Nevo E, Raz S (2015) Fluctuating Asymmetry of Plant Leaves: Batch Processing with LAMINA and Continuous Symmetry Measures. Symmetry. 7. 255-268

Handford P (1980) Heterozygosity at enzyme loci and morphological variation - Nature 286: 261–262

Hansbauer MM, Storch I, Leu S, et al (2008a) Movements of Neotropical understory passerines affected by anthropogenic forest edges in the Brazilian Atlantic Rainforest - Biological Conservation, 141: 782-791

Hansbauer MM, Storch I, Pimentel RG, Metzger JP (2008b) Comparative range use by three Atlantic Forest understorey bird species in relation to forest fragmentation - Journal of Tropical Ecology, 24: 291-299

Hoelzel AR, Goldsworthy S, Fleischer RC (2002) Population genetic structure. In: Marine Mammal Biology; An Evolutionary Approach (A.R. Hoelzel, ed.) - 325–354. Blackwell Science, Oxford

Hosken DJ, Blanckenhorn WU, Ward PI (2000) Developmental stability in the yellow dung fly (Scathophaga stercoraria): fluctuating asymmetry, heterozygosity and environmental stress – Journal of Evolutionary Biology. 13(6): 919-926

IBGE (1985) Atlas Nacional do Brasil: região Nordeste. IBGE, Rio de Janeiro

IBGE (1992) Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: CDDI-IBGE, 92p.

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco (2008) www.itep.br/lamepe. ASP. Acessed 15 June 2018

IUCN (2012) The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. http://www.iucnredlist.org. Accessed 15 June 2018

Jennions MD, Møller AP (2002) Publication bias in ecology and evolution: an empirical assessment using the “trim and fill” method - Biol Rev 77:211-222

Klingenberg CP (2015) Analyzing fluctuating asymmetry with geometric morphometrics: concepts, methods, and applications. Symmetry 7: 843–934

Kristoffersen JB, Magoulas A (2009) Fluctuating asymmetry and fitness correlations in two Engraulis encrasicolus populations. Journal of Fish Biology. (75):2723–2736

Kitevski B, Pyron M (2003) Symmetry of banding pattern in banded killifish (Fundulus diaphanus) from Presque Isle Bay, Lake Erie - Journal of Freshwater Ecology, 18(2):229-233

Laurance WF, Camargo JLC, Luizao RCC at al (2011) The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. Biol Conserv 144:56–67

Leamy LJ, Routman EJ, Cheverud JM (1999) Quantitative trait loci for early and late developing skull characters in mice: a test of the genetic independence model of morphological integration - Am. Nat. 153:201–14

Leamy L, Doster MJ, Huet-Hudson Y (1999) Effects of methoxychlor on directional and fluctuating asymmetry of mandible characters in mice. Ecotoxicology, 8: 63-71

Leary RF, Allendorf FW (1989) Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: implications for conservation biology - Trends Ecol. Evol. 4: 214–217

Lens L, Van Dongen S, Wilder CM, Brooks TM, Mattysen E (1999) Fluctuating asymmetry increases with habitat disturbance in seven bird species of a fragmented afrotropical forest - Proc. Biol Sci. 266 (1425): 1241

Lens L, Van Dongen S, Kark S, Matthysen E (2002) Fluctuating Asymmetry As An Indicator Of Fitness: Can We Bridge The Gap Between Studies - Biological Reviews, 77: 27– 38

Lerner IM (1954) Genetic Homeostasis. Oliver and Boyd, London

Lovejoy TE, Nobre C (2018) Amazon Tipping Point. Science Advances, 4(2)

Lucena M (2009) Flora da Mata do Estado, São Vicente Férrer, Pernambuco, Brasil. Relatório Técnico. Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste, Recife, PE

Lutterschmidt WI, Martin SL, Schaefer JF (2016) Fluctuating Asymmetry in Two Common Freshwater Fishes as a Biological Indicator of Urbanization and Environmental Stress within the Middle Chattahoochee Watershed. Symmetry. 8 (11): 124

Mendes GM (2014) Assimetria Flutuante como bioindicadora de mudanças ambientais e interações tróficas em Cecropia pachystachya (Urticaceae). Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre

Miles DB, Ricklefs RE (1984) The Correlation Between Ecology and Morphology in Deciduous Forest Passerine Birds. Wiley on behalf of the Ecological Society of America. Ecology. ,65(5): 1629-1640

Moller AP, Swaddle JP (1997) Asymmetry, developmental stability and evolution – Complexity. 4(4): 53-55

Møller AP, Höglund J (1991) Patterns of fluctuation asymmetry in avian feather ornaments: implications for models of sexual selection - Proc. R. Soc. B 245: 1–5

Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG et al (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 403 (2000), pp. 853-858

Nagamitsu T, Kawahara T, Hotta M (2004) Phenotypic variation and leaf fluctuating asymmetry in isolated population of an endangered dwarf bich Betula ovalifolia in Hokkaido, Japan. Plant Species Biology, 19:13-21

Neto FGC (2013) Ecologia, assimetria flutuante e dimorfismo sexual em pequenos mamíferos em remanescentes de floresta atlântica do nordeste do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco. Centro Acadêmico de Vitória – Programa de Pós- graduação em Saúde Humana e Meio Ambiente – PPGSHMA. Dissertação de Mestrado. Vitória de Santo Antão – Pernambuco

Novak JM, Rhodes OE, Smith MH, Chesser RK (1993) Morphological asymmetry in mammals: Genetics and homestasis reconsidered - ActaTheriol. 38 (suppl. 2)

Oxnevad SA, Heibo E, Vollestad LA (2002) Is there a relationship between fluctuating asymmetry and reproductive investment in perch (Perca fluviatilis)? - Canadian Journal of Zoology, 80: 120–125

Palma AMH (2017) Condition of Birds in Amazonian Rainforest Fragments and Second-Growth Forests. LSU Doctoral Dissertations

Palmer AR, Strobeck C (1986) Fluctuating Asymmetry: Measurement, Analysis, Patterns. Annual Review of Ecology and Systematics, Canadá, 17: 391-421

Palmer AR, Strobeck C (1992) Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: Implications of non- normal distributions and power of statistical tests - Acta Zoologica Fennica 191: 57-72

Palmer AR (1994) Fluctuating asymmetry analysis: a primer. - In: Markow, T.A. (ed.) Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications, Kluwer Academic, London. pp. 335-364

Palmer AR (1999) Detecting publication bias in meta analyses: a case study fluctuating asymmetry and sexual selection - Am Natur, 154:220-233

Palmer AR, Strobeck D (2003) Fluctuating asymmetry analyses revisited - See Polak 279–319

Parsons PA (1990) Fluctuating asymmetry: an epigenetic measure of stress - Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. 65: 131-145

Parsons PA (1992) Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress - Heredity 68:361–364

Pereira CCT (2011) Assimetria Flutuante, Herbivoria e Polinização em Melastomataceae. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte

Perzigian AJ (1977) Fluctuating dental asymmetry: variation among skeletal populations - Am. J. phys. Anthrop. 47: 81-88

Pietrobom MR, Barros ICL (2003) Pteridófitas de um fragmento florestal na Serra do Mascarenhas, estado de Pernambuco, Brasil. INSULA Revista de Botânica, Florianópolis, v. 32, p. 73, jan. 2003. ISSN 2178-4574. https://periodicos.ufsc.br/ index.php/insula/article/view/21200. Acessed 23 February 2019

Polak M, Trivers R (1994) The science of symmetry in biology - Trends Ecol. Evol. 9:122–124

Polak M (2003) Developmental instability: causes and consequences - Oxford University Press, New York, NY Primak RB, Rodrigues E (2001) Biologia da conservação. Editora Rodrigues. Biblioteca Nacional. P.328

Ranta P, Blom T, Niemela J, Joensuu E, Siitonen M (1998) The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. Biodiversity and Conservation 7:385–403

Rasmuson M (2002) Fluctuating asymmetry indicator of what? Hereditas 136: 177–183

Reis EF, Pinto NS, Carvalho FG, Juen L (2011) Efeito da Integridade Ambiental Sobre a Assimetria Flutuante em Erythtodiplax basalis (Libellulidae: Odonata) (Kirby) - Entomobrasilis 4(3): 103–107

Rettenmeyer CW (1983) Eciton burchelli and other army ants (hormiga arriera, ary ants). 716-718 in: Janzen, D.H. (ed), Costa Rican Natural History - Chicago: Univ. Chicago Pr

Rocha BM (2018) Assimetria flutuante e seleção natural em Carolla Perspicillata (Chiroptera: Phyllostomidae). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Dissertação de Mestrado

Roda SA, Santos AMM (2005) Avaliação de fragmentos florestais para uma possível reintrodução do mutum-de-alagoas em seu ambiente natural. Relatório CEPAN, Disponível em www.cepan.org.br. Accessed 28 July 2018

Rodal MJN, Sales MF, Mayo SJ (1998) Florestas serranas de Pernambuco: localização e conservação dos remanescentes dos brejos de altitude, Pernambuco - Brasil. UFRPE, Recife, PE. 25p

Sanseverino AM, Nessimiam JL (2008) Assimetria flutuante fm Organismos Aquáticos e sua aplicação para avaliação de Impactos Ambientais. Ecologia Brasiliensis, 12: 382-405

Santos MAL, Frizzone JA (2006) Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (Saccharum ssp) colhida no mês de janeiro: um modelo de análise de decisão para o litoral sul do Estado de Alagoas. Irriga 11, 339-355

Santos BA, Peres CA, Oliveira MA, Grillo A, Alves-Costa CP, Tabarelli M (2008) Drastic erosion in functional attributes of tree assemblages in Atlantic forest fragments of northeastern Brazil. Biol. Conserv. 141: 249–260

Sarre S, Dearn JD, Georges A (1994) The application of fluctuating asymmetry in the monitoring of animal population - Pacific Conservation Biology, 1: 118-122

Sigrist T (2009) Avifauna brasileira: pranchas e mapas - Vinhedo: Avis Brasilis

Silva MC (2007) Variação Morfológica e Assimetria Flutuante de abelhas euglossinas (hymenoptera, apidae) em diferentes áreas e estações distintas em uma reserva de floresta estacional semidecidual. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de genética e de bioquímica. Dissertação de Mestrado

Simmons LW, Tomkins JL, Kotiaho JS, Hunt J (1999) Fluctuating paradigm. - Proc. R. Soc. London Ser. B 266:593–95

Somarakis S, Kostikas I, Peristeraki N, Tsimenides N (1997) Fluctuating asymmetry in the otoliths of larval anchovy Engraulis encrasicolus and the use of developmental instability as an indicator of condition in larval fish. Marine Ecology Progress Series. (51): 191-203

Stotz DF, Fitzpatrick JW, Parker III TA, Moskovits DK (1996): Neotropical birds: ecology and conservation. Chicago: - The University of Chicago Press. 502p.

Tabarelli M, Siqueira Filho JA, Santos AMM (2006) A floresta Atlântica ao norte do rio São Francisco. pp. 24-37. In: Pôrto K, Cortez JÁ, Tabarelli M (orgs). Diversidade biológica no Centro de Endemismo Pernambuco: sítios prioritários para a conservação. Coleção Biodiversidade, 14. Brasília: Ministério do Meio Ambiente

Tomkins JL, Kotiaho JS (2002) Fluctuating Asymmetry. In eLS, (Ed.). doi:10.1038/npg.els.0003741.

Trokovic N, Herczeg G, Ghani NI, Shikano T, Merilä J (2012) High levels of fluctuating asymmetry in isolated stickleback populations. Evolutionary Biology, 12, 115

Uezu A, Metzger JPW, Vielliard JM (2005): The effect of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species - Biological Conservation 123:507-519.

Van Dongen S, Sprengers E, Löfstedt C, Matthysen E (1999) Heritability of tibia fluctuating asymmetry and developmental instability in the winter moth (Operophtera brumata L.) (Lepidoptera, Geometridae) - Heredity 82:535–542

Van Valen L (1962) A Study of Fluctuating Asymmetry. Evolution. 16(2), 125-142. doi:10.230 7/2406192

Vangestel C, Lens L (2011) Does fluctuating asymmetry constitute a sensitive biomarker of nutritional stressin house sparrows (Passer domesticus)? Ecol. Indic. 11: 389–394

Veloso HP, Góes-Filho, L (1982) Fitogeografia brasileira. Classificação fisionâmicoecológica da vegetação neotropical. Boletim Técnico do Projeto Radambrasil, série Vegetação (1): 3-79

Veloso HP, Rangel-Filho ALR, Lima JCA (1991) Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Vianello RL, Alves AR (2000) Meteorologia básica e aplicações. Viçosa, M.G: UFV, 449p

Vogel HF, Zawadzki CH, Silva GS, Ramos CCO, Bechara FC (2012) Assimetria Flutuante: Dados iniciais de uma taxocenose de sabiás (passeriformes, turdidae) ocorrentes em um parque urbano na região centro-sul do estado do Paraná, brasil. publ. uepg ci.biol. saúde, ponta grossa, 18:(1): 25-30

Vøllestad LA, Hindar K, Møller AP (1999) A meta-analysis of fluctuating asymmetry in relation to heterozygosity – Heredity 83: 206–218

Voss WA, Sander M (1981) Aves observadas numa monocultura de acácia-negra, Acacia mollisima Willd nos arredores de São Leopoldo, RS - Brasil Florestal, 11(46):7-15

Waddington CH (1942) Canalization of development and the inheritance of acquired characters – Nature 150:563–565

Wayne RK, Modi WS, O'Brien SJ (1986) Morphological variability and asymmetry in the cheetah (Acinonyx jubatus), a genetically uniform species - Evolution 40:78–83

Willis EO (1979) The composition of avian communities in remanescent woodlots in southern Brazil - Pap. Avulsos Zool., São Paulo, 33(1): 1-25

Willis EO (1984) Conservation, subdivision of reserves, and the anti-dismemberment Hypotesis - Oikos, 42: 396-398

Wilcove DS (1986) Habitat fragmentation in the temperate zone. In: Soulé, M.E. Conservation biology: the science of scarcity and diversity. Sunderland: Sinauer Associates. cap. 11, :237-256

Zar JH (1999) Biostatistical Analysis. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall

Affiliations

Phillipe Knippel Do Carmo Graça1 [1] . Wellington Hannibal [2] . Alexandre Mendes Fernandes [3]

Phillipe Knippel Do Carmo Graça
lipekgraca@gmail.com

Wellington Hannibal
wellingtonhannibal@gmail.com

Alexandre Mendes Fernandes
fernandesornito@gmail.com

1 Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, Pernambuco, Brazil

2 Universidade Estadual de Goiás – Goiás, Brazil

3 Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, Pernambuco, Brazil

5- CONCLUSÕES

Nos dias atuais, a ecologia possui grande interesse em quais alterações no funcionamento dos ecossistemas e na estrutura de comunidades ocorrem decorrentes da antropização (Moretti et al. 2006), uma vez que grande parte dos ecossistemas naturais são alterados pelo homem de diversas formas. (Söderman et al. 2007).

Mudanças na estrutura de comunidades e no funcionamento dos ecossistemas após perturbações de origem antrópica são de interesse central para a ecologia, e um dos grandes desafios dos ecólogos é o entendimento dos fatores que afetam a resiliência de tais funções ecossistêmicas (Moretti et al. 2006). Entre as perturbações antrópicas responsáveis por impactar a manutenção de ecossistemas está a fragmentação de habitats, que interfere nas populações selvagens de modo complexo e intenso (Robinson et al. 1992).

Devido ao aumento das fragmentações de habitats e suas consequências consideráveis para a biodiversidade, deve-se atuar na manutenção das áreas fragmentadas além de utilizar práticas de biomonitoramento (Santos 2004). Uma das formas de se usar o biomonitoramento é através do cálculo do índice da assimetria flutuante (AF), empregada para monitorar populações de áreas alteradas (Leary e Allendorf 1989, Lomônaco e Germanos 2001).

Presume-se que a AF seja uma medida do "ruido do desenvolvimento", isto é, na variabilidade randômica do desenvolvimento (Palmer et al.,1993) representando pequenas variações aleatórias entre os dois lados de caracteres com simetria bilateral. O estresse ambiental e gené- tico em populações é responsável por aumentar a assimetria flutuante em várias espécies (Ba- dyaev et al., 2000; Leamy et al.,1999). Populações de áreas fragmentadas apresentaram níveis de assimetria flutuante maiores quando comparadas com animais de áreas continuas (Anciães e Marini, 2000; Lens e Van Dongen, 1999).

Porém, não foram observados valores significativos de AF nos caracteres mensurados em passeriformes de fragmentos menores em comparação aos indivíduos habitantes de áreas maiores, na presente pesquisa. O resultado pode indicar que existe uma maior capacidade de dispersão por parte dos pássaros analisados, a proximidade com outros fragmentos mais preservados ou ainda que a AF nestes locais seja controlada pelos mecanismos de homeostasia de desenvolvimento ou que populações de fragmentos menores e maiores não estão sob stress da mesma maneira, podendo este vir de outra fonte que não o causado pela fragmentação. A falta de relação entre o tamanho do hectare e a assimetria flutuante não deve ser interpretado como prova de que não exista estresse significativo no sistema em particular (Tomkins e Kotiaho, 2001).

Mudanças na estrutura de comunidades e no funcionamento dos ecossistemas após perturbações de origem antrópica são de interesse central para a ecologia, e um dos grandes desafios dos ecólogos é o entendimento dos fatores que afetam a resiliência de tais funções ecossistêmicas (Moretti et al. 2006). Entre as perturbações antrópicas responsáveis por impactar a manutenção de ecossistemas está a fragmentação de habitats, que interfere nas populações selvagens de modo complexo e intenso (Robinson et al. 1992).

Devido ao aumento das fragmentações de habitats e suas consequências consideráveis para a biodiversidade, deve-se atuar na manutenção das áreas fragmentadas além de utilizar práticas de biomonitoramento (Santos 2004). Uma das formas de se usar o biomonitoramento é através do cálculo do índice da assimetria flutuante (AF), empregada para monitorar populações de áreas alteradas (Leary e Allendorf 1989, Lomônaco e Germanos 2001).

Presume-se que a AF seja uma medida do "ruido do desenvolvimento", isto é, na variabilidade randômica do desenvolvimento (Palmer et al.,1993) representando pequenas variações aleatórias entre os dois lados de caracteres com simetria bilateral. O estresse ambiental e gené- tico em populações é responsável por aumentar a assimetria flutuante em várias espécies (Ba- dyaev et al., 2000; Leamy et al.,1999). Populações de áreas fragmentadas apresentaram níveis de assimetria flutuante maiores quando comparadas com animais de áreas continuas (Anciães e Marini, 2000; Lens e Van Dongen, 1999).

Porém, não foram observados valores significativos de AF nos caracteres mensurados em passeriformes de fragmentos menores em comparação aos indivíduos habitantes de áreas maiores, na presente pesquisa. O resultado pode indicar que existe uma maior capacidade de dispersão por parte dos pássaros analisados, a proximidade com outros fragmentos mais preservados ou ainda que a AF nestes locais seja controlada pelos mecanismos de homeostasia de desenvolvimento ou que populações de fragmentos menores e maiores não estão sob stress da mesma maneira, podendo este vir de outra fonte que não o causado pela fragmentação. A falta de relação entre o tamanho do hectare e a assimetria flutuante não deve ser interpretado como pro- va de que não exista estresse significativo no sistema em particular (Tomkins e Kotiaho, 2001).

Declaração sobre plágio

Eu, Phillipe Knippel do Carmo Graça, autor da dissertação intitulada “Assimetria Flutuante em passeriformes de Mata Atlântica na região nordeste”, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco, declaro que:

- O trabalho de pesquisa apresentada nesta dissertação, exceto onde especificado, representa uma pesquisa original desenvolvida por mim;

- Esta dissertação não contém material escrito ou dados de terceiros, de qualquer fonte bibliográfica, a menos que devidamente citada e referenciada no item “Referências Bibliográficas”.

Serra Talhada, 09 de setembro de 2019

(assinatura)