

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 07/11/2025.



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E
BIODIVERSIDADE**

**THE IMPACT OF CLIMATE AND LANDSCAPE ANTHROPIZATION ON
CARNIVORE MOVEMENT: A MULTI-SCALE APPROACH**

Marina Furlan Giubbina

**Rio Claro – SP
2023**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E
BIODIVERSIDADE

THE IMPACT OF CLIMATE AND LANDSCAPE ANTHROPIZATION ON
CARNIVORE MOVEMENT: A MULTI-SCALE APPROACH

Marina Furlan Giubbina

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutora em Ecologia, Evolução e Biodiversidade.

Orientador: Milton Cezar Ribeiro
Co-orientadora: Milene Amâncio
Alves- Eingenheer

Rio Claro – SP
2023

G537i

Giubbina, Marina Furlan

The impact of climate and landscape anthropization on carnivore movement: a multi-scale approach / Marina Furlan Giubbina. -- Rio Claro, 2023
107 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientador: Milton Cezar Ribeiro

Coorientadora: Milene Amâncio Alves-Eigenheer

1. Onça-pintada. 2. Ecologia de paisagem. 3. Carnívoros. 4. Modelagem de distribuição de espécies. 5. Comprimento de passo. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: THE IMPACT OF CLIMATE AND LANDSCAPE ANTHROPIZATION ON CARNIVORE
MOVEMENT: A MULTI-SCALE APPROACH

AUTORA: MARINA FURLAN GIUBBINA

ORIENTADOR: MILTON CEZAR RIBEIRO

COORIENTADORA: MILENE AMÂNCIO ALVES EIGENHEER

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ecologia, Evolução e
Biodiversidade, área: Biodiversidade pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MILTON CEZAR RIBEIRO (Participação Presencial)
Departamento de Biodiversidade / Unesp - IB Rio Claro

Milton Cezar
Ribeiro:1270
4118884

Digitally signed by Milton Cezar
Ribeiro:12704118884
DN: cn=Milton Cezar Ribeiro:12704118884,
ou=UNESP - Universidade Estadual
Paulista Julio de Mesquita Filho, o=CPEdu,
c=BR
Reason: I am the author of this document
Location: Rio Claro, SP, Brazil
Date: 2023.12.18 15:57:22-0300
Foxit PDF Editor Version: 2023.1.0

Prof. Dr. THADEU SOBRAL DE SOUZA (Participação Virtual)
Departamento de Botânica e Ecologia / Universidade Federal de Mato Grosso

Documento assinado digitalmente
 **THADEU SOBRAL DE SOUZA**
Data: 20/12/2023 08:34:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. JULIA EMI DE FARIA OSHIMA (Participação Presencial)
Departamento de Ecologia Geral / Universidade de São Paulo

Documento assinado digitalmente
 **JULIA EMI DE FARIA OSHIMA**
Data: 19/12/2023 16:29:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rio Claro, 07 de novembro de 2023

Dedicatória

Dedico esta tese à todas as mulheres mães cientistas.

Ao meu companheiro Cauê

E às minhas piticas Luna e Flora, sem as quais nunca

saberia a força que tenho dentro de mim.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer ao Miltinho, meu orientador favorito, que me inspira como pesquisador e como pessoa, com sua vontade de abraçar o mundo, sua humildade e sabedoria.

À Milene, minha co-orientadora que me ensinou com sua sabedoria sobre os caminhos tortuosos da pesquisa acadêmica e sempre me acalmou com sua alegria.

Agradeço principalmente aos meus pais, Jadir e Rosemary, que sempre acreditaram em mim e me deram o total apoio para ir onde quer que eu quisesse. O amor e carinho que eles têm por mim e minha irmã, sempre nos deu muita coragem e força para corrermos atrás dos nossos sonhos.

Minha irmã Fernanda, meu cunhado Amadeu, minha prima-irmã Laura, minha tia-mãe Rose, muita gratidão por todo amor e apoio que vocês sempre me deram. Construí quem sou hoje com seus exemplos, carinho e apoio.

Ao Cauê, meu companheiro e suporte que com seus questionamentos sempre me faz querer caminhar e aprimorar meu eu e conseqüentemente o mundo ao meu redor. Gratidão por construir comigo nossa família maravilhosa que hoje é a base da minha existência e minha casa.

Gratidão às minhas princesas Luna e Flora. Luna, minha pequena mais velha que começou esse doutorado na minha barriga e hoje já é uma menina muito sapeca, doce e carinhosa. Com seu jeitinho conquista todos ao seu redor. Florinha, minha pititica caçula que passou esse final de ciclo no meu ventre, nasceu e trouxe muita alegria à nossa família com suas risadinhas e sorrisos, fazendo todos os momentos difíceis se tornarem mais leves.

À Sandra, minha sogrinha, pelo apoio desde sempre, pelo seu amor e dedicação pela Luna e Flora e por ter trazido o Cauê ao mundo.

À Nat que me ajudou imensamente nos modelos climáticos, na construção das modelagens no projeto e dos pitacos no cap 01.

À Ju Bento que me socorreu inúmeras vezes com os pcs do LASI e do LEEC e com trâmites burocráticos. Merece inúmeros chocolates em agradecimento. Aos maravilhosos Salsicha e Cabu que desde de 2008/2010 estão na torcida sempre passando pelas fases ao meu lado, mesmo que longe, mas perto. Muitas risadas, abraços e amor descrevem vocês.

Aos amigos da TJ Jig Tarza, Pirata, Baia, Bia, Laurinha. É sempre muito bom compartilhar com vcs as fases da minha vida. Mais uma etapa que estiveram ao meu lado.

Às deusas Amanda e Bruna que sempre me apoiaram e também vivem na pele essa luta da pesquisadora mulher brasileira.

Aos amigos de LAACC, Macaco, Reto, Kaiser e Bigo que compartilham dessa paixão pelo pantanal, pelo simples e pelas amizades sinceras. Sua vez!

Agora, um desabafo! Nem acredito que consegui. Consegui ser mãe de duas meninas lindas, companheira e pesquisadora. Quantas noites sem dormir, quanta doação à pesquisa e à minha família. Senti na pele o quanto de força é preciso ter para ser mãe e pesquisadora no Brasil. Duas funções que são muito negligenciadas pela sociedade. Senti a solidão, o carinho, o amor, o desespero, o cansaço, a autocobrança, o apoio, o sucesso. Agradeço por toda força que todos que passaram por mim nesses anos me transmitiram. Que todas nós, mães e pesquisadoras, continuemos com nossas lutas e que ninguém consiga nos desmotivar.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Resumo

O planeta Terra está atualmente enfrentando desafios sem precedentes decorrentes de mudanças induzidas pelos seres humanos, especialmente a antropização da paisagem e as mudanças climáticas, que resultaram na perda de habitat, fragmentação, poluição, espécies invasoras e eventos climáticos extremos. Esses fatores estressantes colocam em perigo a biodiversidade terrestre e perturbam o funcionamento dos ecossistemas. Entre os mais afetados estão as populações de animais, especialmente os carnívoros, cujos padrões de movimento são diretamente influenciados por esses fatores estressantes cumulativos, moldando a distribuição e as interações das espécies. Esta tese de doutorado tem como objetivo compreender o impacto do clima e da antropização da paisagem sobre a movimentação de carnívoros. O primeiro capítulo fornece uma revisão bibliográfica evidenciando a necessidade de uma análise integrada de clima e paisagem para planejamento de estratégias de conservação de carnívoros em uma escala global. Esta revisão culmina em um framework conceitual que conecta sistematicamente os diversos aspectos climáticos e de paisagem afetando a movimentação e uso do espaço por canívoros. O segundo capítulo explora o impacto do clima e da paisagem na adequação do habitat e no movimento da *Panthera onca* no bioma do Pantanal Brasileiro e também é explorado a influência da sazonalidade, da precipitação e do uso da terra no comprimento de passo das onças-pintadas. Os resultados obtidos indicaram as regiões mais adequadas para a espécie, bem como mostraram a sensibilidade das onças às interações entre clima e paisagem, e a influência da precipitação e da sazonalidade no movimento. Considerando as evidentes mudanças climáticas, medidas regenerativas de conservação, como agrofloresta e sistemas de integração Lavoura, Pecuária Floresta (LPF), que integram a produção de recursos para os humanos e proporcionam um ecossistema saudável para a vida selvagem, são estratégias que indicam ser eficazes dentro do nosso contexto atual. Portanto, essa tese gera dados empíricos demonstrando quais fatores devem ser considerados para conservação da onça-

pintada e conseqüentemente para o bioma Pantanal, já que a onça atua como uma espécie chave mantendo o equilíbrio do bioma.

Palavras-chave: *Clima, Sazonalidade, Pantanal, antropização da paisagem, onça-pintada, Modelagem de distribuição de espécies, movimento animal, comprimento de passo.*

Abstract

The Earth is currently facing unprecedented challenges arising from human-induced changes, notably landscape anthropization and climate change, which have led to habitat loss, fragmentation, pollution, invasive species, and extreme climate events. These stressors endanger terrestrial biodiversity and disrupt ecosystem functioning. Among the most affected are animal populations, particularly carnivores, whose movement patterns are directly influenced by these cumulative stressors, ultimately shaping species distribution and interactions. This doctoral thesis aims to comprehend the repercussions of climate and landscape anthropization on carnivore movement. The first chapter provides a review of the influence of climate and landscape anthropization on animal movement, with a specific focus on carnivore mammals. It was evidenced that there are few studies analyzing the effects of climate and landscape on carnivore movement, and the combined analysis of these factors is of utmost importance to plan conservation strategies in a scenario of constant climate and landscape changes. The second chapter explores the impact of climate and landscape on habitat suitability and movement of *Panthera onca* in the Pantanal biome and we also explore the influence of seasonality, rainfall and land use on Step Length of jaguars. The results obtained indicated the regions most suitable for jaguars, as well as showing the sensitivity of this species to the interactions between climate and landscape and the influence of rainfall and seasonality in the movement. Considering the evident climate changes, regenerative conservation measures, such as agroforestry and agro-silvopastoral systems, which integrate resource production for humans and provide a healthy ecosystem for wildlife, are strategies that appear to be effective within our current context. Therefore, this thesis generates empirical data demonstrating which factors should be considered for jaguar conservation and consequently for the Pantanal biome since the jaguar acts as a keystone species maintaining the biome's balance.

Keywords: Climate change, seasonality, Pantanal, landscape anthropization, jaguars, Panthera onca, species distribution modeling, animal movement, step length.

Contents

1. General Introduction	13
2. Objectives	14
3. References	15
CHAPTER I - An overview on climate and landscape anthropization impact on carnivore movement	18
Abstract	19
Main text	21
Materials and methods	23
Results	24
3.1. Climate influences on movement patterns	28
3.2. Landscape influences on movement patterns	32
Discussion	40
Conclusions	42
References	43
CHAPTER II - The impact of climate and landscape on jaguar's movement, the neotropical apex predator	56
ABSTRACT	57
1.INTRODUCTION	58
2. MATERIAL AND METHODS	60
2.1. Model species	62
2.2 Environmental predictors	62
2.2.1 Bioclimatic variables	62
2.2.2 Landscape attributes	63
2.2.3 Topography	63
2.2.4 Anthropogenic information	64
2.3. Spatial and environmental rarefaction of occurrence data	64
2.4. Climate and Landscape modeling	67
2.5 Movement analysis	68
2.5.1 Landscape movements with models layers	68
2.5.2 Climate movements	68
2.5.3. Landscape analysis	69
3. RESULTS	71
3.1. Climatic Models	71
3.2. Landscape Models	74

3.3 Final map combining climate and landscape suitability.....	76
3.3. Movement	78
3.3.1 SDM movements	78
3.3.2 Climatic movements	79
3.1.3 Landscape seasonal movement	84
4. DISCUSSION	89
4.1 - <i>Habitat suitability</i>	89
4.2 - <i>Influence of habitat suitability on Jaguar's movement</i>	90
4.3 - <i>Seasonal movement</i>	91
4.4 Perspectives for conservation	92
5.CONCLUSIONS	93
6. REFERENCES	94
7. SUPPLEMENTARY MATERIAL	106

1. General Introduction

The Earth is facing unprecedented challenges as a result of human-induced changes, such as landscape anthropization caused by land use and climate change (Newbold et al., 2015; Crowther et al., 2014; Aycrigg et al., 2021; Wolf et al., 2020). These stressors, including habitat loss, fragmentation, pollution, invasive species, and extreme climate events, are threatening terrestrial biodiversity and disrupting ecosystem functioning (Newbold et al., 2015). Among the various impacts, the movement patterns of animal populations, particularly carnivores, are directly affected by these cumulative stressors, ultimately influencing species distribution and interactions (Tucker et al., 2018; Yackulic et al., 2011; Gaynor et al., 2018).

Carnivores, as large-bodied predators, play critical roles in ecosystems functioning, regulating their prey population levels and sometimes acting as seed dispersers (McColgin et al., 2017; Symes et al., 2017; Silveira et al., 2016). However, they are highly susceptible to the effects of landscape anthropization due to their needs for extensive living areas and their solitary or small group behavior. Another challenge that the carnivores are facing is related to climate modifications, once it is undeniable that the Earth's climate has been changing due to human activities (Wolf et al., 2020).

To persist in these rapidly changing climate condition environments, much of today's biota will need to traverse human-dominated landscapes (Gaynor et al., 2018). Therefore, understanding how climate variables, such as temperature, precipitation, and seasonal variations, interact with habitat loss and fragmentation to influence carnivore movement is essential to develop more effective conservation strategies (Ausband et al., 2016; Droghini & Boltin, 2018).

Animal movement is driven by factors like thermoregulation, resource availability, and seasonal changes, which directly impact foraging and dispersal movements (Inman et al., 2020; Farhadinia et al., 2020). The animal movement is a multifaceted process that operates across various spatio-temporal scales and shapes biodiversity patterns (Schweiger et al., 2012), thus affecting genetic diversity, metapopulation and metacommunity dynamics (Blaum et al., 2012; Vanschoenwinkel et al., 2008). Consequently, elucidating the relationship

between landscape attributes and habitat distribution is crucial for assessing species survival and conservation planning (Jennings et al., 2016; Hämäläinen et al., 2017).

To address these pressing ecological challenges, the main objective of this doctoral thesis is to understand the effects of climate and landscape anthropization in the movement of carnivores. The first chapter aims to provide a comprehensive conceptual synthesis of climate and landscape anthropization on animal movement, with a focus on carnivore mammals. By examining the responses of carnivores to climate variables and anthropogenic landscape attributes, this research contributes to a better understanding of species distribution, genetic structure, and population viability (Karelus et al., 2019; Aycrigg et al., 2021).

The second chapter aims to understand the impact of climate and landscape alterations in the habitat suitability and movement behavior of *Panthera onca* in the pantanal biome and the influence of seasonality in the movement patterns shaped by rainfall and land use. Ultimately, our findings are crucial to carefully implement conservation measures and strategies to safeguard ecosystems and the diverse fauna they support in the face of rapid global changes.

3. References

Aycrigg JL, Wells AG, Garton EO, Magipane B, Liston GE, Prugh LR, Rachlow JL. Habitat selection by Dall's sheep is influenced by multiple factors including direct and indirect climate effects. *PloS One*. 2021;16:3:e0248763.

Blaum N, Schwager M, Wichmann MC, Rossmannith E. Climate induced changes in matrix suitability explain gene flow in a fragmented landscape—the effect of interannual rainfall variability. *Ecography*. 2012;35:7.

Crowther MS, Lunney D, Lemon J, Stalenberg E, Wheeler R, Madani G, Ellis M. Climate - mediated habitat selection in an arboreal folivore. *Ecography*. 2014;37:4:336-343.

Droghini A, Boutin S. The calm during the storm: snowfall events decrease the movement rates of grey wolves (*Canis lupus*). *PLoS One*. 2018;13:10.

Farhadinia MS, Michelot T, Johnson PJ, Hunter LT, Macdonald DW. Understanding decision making in a food-caching predator using hidden Markov models. *Movement Ecology*. 2020;8:1.

Gaynor KM, Hojnowski CE, Carter NH, Brashares JS. The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science*. 2018;360:6394:1232-1235.

Hämäläinen A, Broadley K, Droghini A, Haines JA, Lamb CT, Boutin S, Gilbert S. The ecological significance of secondary seed dispersal by carnivores. *Ecosphere*. 2017;8:2.

Inman RM, Packila ML, Inman KH, McCue AJ, White GC, Persson J, Aber BC, Orme ML, Alt KL, Cain SL, Fredrick JA, Oakleaf BJ, Sartorius SS. Spatial ecology of wolverines at the southern periphery of distribution. *Journal of Wildlife Management*. 2012;76.

Jennings MK, Lewison RL, Vickers TW, Boyce WM. Puma response to the effects of fire and urbanization. *The Journal of Wildlife Management*. 2016;80:2.

Karelus DL, Aycrigg JL, Strassmann JE, et al. Cooperative nest construction in house sparrows: social and environmental influences. *Ecology and Evolution*. 2019;9:3.

McColgin ME, Koprowski JL, Waser PM. White-nosed coatis in Arizona: tropical carnivores in a temperate Environment. *Journal of Mammalogy*. 2018;99:1.

Newbold T, et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*. 2015;520:7545.

Schweiger O, Heikkinen RK, Harpke A, Hickler T, Klotz S, Kudrna O, Kühn I, Pöyry J, Settele J. Increasing range mismatching of interacting species under global change is related to their ecological characteristics. *Global Ecology and Biogeography*. 2012;21.

Silveira NSD, Niebuhr BBS, Muylaert RL, Ribeiro MC, Pizo MA. Effects of Land Cover on the Movement of Frugivorous Birds in a Heterogeneous Landscape. *PLOS ONE*. 2016;11:6.

Symes SA, Klafki R, Packham R, Larsen KW. Winter activity patterns of the North American badger (*Taxidea taxus*) at its northwestern periphery. *Journal of Mammalogy*. 2020;101:1.

Vanschoenwinkel B, Gielen S, Vandewaerde H, Seaman M, Brendonck L. Relative importance of different dispersal vectors for small aquatic invertebrates in a rock pool metacommunity. *Ecography*. 2008;31:5.

Wolf E, Fung E, Hoskins B, Mitchell JFB, Palmer T, Santer B, Shepherd F, Shine K, Solomon S, Trenberth K, Walsh J, Wuebbles D. *Climate Change Evidence & Causes, Update 2020*. Royal Society and the US National Academy of Sciences. 2020.

Yackulic CB, Sanderson EW, Uriarte M. Anthropogenic and environmental drivers of modern range loss in large mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011;108:10:4024-4029.

5.CONCLUSIONS

Our results represent an important step in evaluating synergetic effects of climate and landscape on habitat suitability and animal movement, specifically jaguars. Our habitat suitability map, considering climate and landscape variables, presented complementary perceptions, acting as two scale processes. The final habitat suitability map, reinforced the association between jaguar movement and variables related to climate and landscape, highlighting the relevance of habitat-based analyses in wildlife conservation efforts.

Furthermore, we observed that the movement patterns of jaguars are influenced by seasonal variations of rainfall, habitat type, and anthropogenic features, indicating shifts in resource availability, prey distribution, vegetation structure or human features presence. Understanding these seasonal variations in step lengths is crucial for elucidating how jaguars adapt their movement strategies to cope with changing environmental conditions and resource availability throughout the seasons. The observed synergetic effects of climate and landscape on jaguar movement that offer vital insights into their adaptive strategies.

Effective conservation, mitigation, and regenerative strategies, such as agroforestry and agro-silvopastoral are crucial to balance ecosystem dynamics in the face of growing human demands and climate challenges. Climate change is not anymore a problem for future generations, but a current challenge not only for wildlife, but also for humans and their needs. Therefore, this study can be an important tool and source of information on planning and decision making related to jaguar conservation, affecting not only the wildlife, but also people.