

OS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE LAGARTOS: UMA PERSPECTIVA EM DIFERENTES ESCALAS GEOGRÁFICAS

Discente: Naiane Arantes Silva

Orientador: Dr. Fabricius M. C. B. Domingos

1. Introdução

Nas últimas dezenas de anos, as ações humanas têm contribuído grandemente com diferentes tipos de alterações e impactos ambientais, que influenciam, alteram e comprometem os funcionamentos ecossistêmicos (IPCC, 2014). Essas alterações promovem mudanças climáticas que, nos últimos anos, vêm influenciando drasticamente a riqueza, distribuição e existência de espécies de animais e vegetais (Post, 2013; Visser, 2016), pois comprometem o bom funcionamento dos serviços ecológicos, tanto em escalas locais quanto globais (Ipcc, 2014; Thuiller, 2007). Sabemos que a atual temperatura global é a maior dos últimos mil anos, e os regimes de precipitação tendem cada vez mais a não apresentar uniformidade e estabilidade (Walther et al., 2002). Estudos associados à estas alterações, no sentido de buscar compreender como a velocidade e a proporção em que estão acontecendo geram impactos diretos e indiretos nos seres vivos, nos permitem tomar medidas mitigatórias para minimizar as perdas da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (Heikkinen et al., 2006; Pandit et al., 2017).

Variações naturais de fatores ambientais, como temperatura e precipitação, influenciam a distribuição e ocorrência das espécies (Sinervo, 1990; Sinervo et al., 2010), e são esses fatores que auxiliam na compreensão dos processos responsáveis por modular a distribuição das populações, bem como a formação e organização das comunidades, dada a importância em termos adaptativos (Ackerly, 2003). Desta forma, as supracitadas alterações climáticas podem impactar substancialmente a fisiologia das espécies, causando alterações na tolerância termal, desempenho locomotor, áreas de distribuição, reprodução e capacidade de adaptação às alterações ambientais (Eller et al., 2017; Rodrigues et al., 2016). Particularmente, a compreensão das respostas fisiológicas das espécies em relação às variações ambientais é muito importante, pois nos permite inferir aspectos relacionados às adaptações das espécies às condições ambientais locais,

e extrapolar essas informações tanto para escalas maiores quanto para cenários futuros (Kubisch et al., 2015; Pandit et al., 2017; Sinervo et al., 2010). Assim, entender o papel das mudanças no ambiente e sua conexão com as variações ecofisiológicas dos organismos e populações, nos permite fazer projeções futuras para a distribuição das espécies de acordo com os cenários de mudanças ambientais (Heikkinen et al., 2006). Esses modelos de projeção levam em conta os mecanismos de interação entre a aptidão do organismo e o ambiente, baseados em inferências teóricas e experimentais (Araújo, 2009), e são importantes ferramentas na tentativa de evidenciar o quanto as alterações no meio ambiente interferem e prejudicam a existência das espécies e o funcionamento dos ecossistemas.

Organismos ectotérmicos são mais sensíveis às mudanças na temperatura, pois são dependentes de uma fonte de calor externo para que possam se aquecer e realizar suas atividades ecológicas básicas. Além disso, eles precisam ajustar através do comportamento os ganhos de energia do ambiente, pois possuem uma faixa de tolerância termal de funcionamento ecológico (temperaturas muito baixas – Temperatura crítica mínima = CT_{min} , ou muito altas – Temperatura crítica máxima = CT_{max}), e uma temperatura corporal (T_b = body temperature) de performance, que é frequentemente superior às médias de temperatura ambiental (Angilletta, 2006; Lynch e Gabriel, 1987). Os atuais padrões de oscilação da temperatura podem, em muitos casos, exceder os limites térmicos (CT_{max}) ecofisiológicos dos lagartos, o que pode resultar em restrição do nicho térmico diário. Essa diminuição das horas de forrageio diário dos organismos (Sinervo et al., 2010) pode comprometer substancialmente a alimentação e reprodução dos mesmos, o que pode levar a população a extinção local (Sinervo, 1990; Thomas et al., 2004; Walther et al., 2002). Assim, entender a influência das alterações climáticas sobre a atividade dos indivíduos pode, então, fornecer informações importantes sobre a flexibilidade térmica, o potencial adaptativo das populações e, conseqüentemente, sobre como tais alterações irão afetar estas populações em termos conservacionistas (Herrando-Pérez et al., 2019).

Os recentes modelos de extinção para lagartos são alarmantes, especialmente para as áreas Neotropicais. Sinervo e colaboradores (2010) observaram, em um estudo no México, que até 2070 em torno de 39% das populações locais terão desaparecido, e que 20% das espécies em todo o mundo tendem a estar extintas até 2080, o que pode resultar em uma catástrofe ecossistêmica global (Urban, 2015). Isso porque, alterações ambientais causam mudanças ecofisiológicas que acabam por promover a extinção local

de diversas populações (Colwell et al., 2008; Sinervo et al., 2010). A região Neotropical é particularmente sensível à estas alterações locais, apresentando uma maior tendência de diminuição da biodiversidade, provavelmente porque essas áreas são afetadas mais rapidamente pelas mudanças de temperatura (Huey et al., 2012; Sinervo et al., 2010). De maneira geral, os répteis sofrem pressões conservacionistas dos mais variados impactos humanos (Diele-Viegas e Rocha, 2018; Huey et al., 2012; Pontes-Da-Silva et al., 2018; Sinervo, 1990; Sinervo et al., 2010; Sinervo et al., 2011), o que tem causado declínio não apenas nas populações locais, como também na riqueza regional de espécies em vários ambientes (Sinervo et al., 2010; Urban, 2015). Desta maneira, projeções futuras sobre o potencial adaptativo de espécies e de populações de répteis, em termos ecofisiológicos, são essenciais para a conservação da biodiversidade, pois elas podem fornecer importantes indicativos de como minimizar os impactos (Thuiller, 2007). Estudos sobre estimativas dos riscos de extinção têm mostrado que as variações na fisiologia entre e dentro das populações podem resultar em plasticidade fenotípica ou adaptação evolutiva (Yuan et al., 2018), indicando uma flexibilidade na sensibilidade climática (Huey et al., 2009).

Assim, as diferentes características ecofisiológicas relacionadas à sensibilidade térmica, podem indicar diferenças na vulnerabilidade das populações de acordo com a estrutura do hábitat local (Berriozabal-Islas et al., 2018), visto que tal estrutura influencia diretamente a variação microclimática (Piantoni et al., 2016). Estudar a variação das populações em diferentes locais e regiões, levando em consideração a estrutura do hábitat, bem como os fatores macro e microclimáticos, são elementos importantes para explicar a diversidade fenotípica em termos ecofisiológicos (Aranda e Graciolli, 2015; Nogueira et al., 2011), e ajudar a prever as respostas das espécies às alterações ambientais. Répteis são excelentes modelos para investigar tais respostas às mudanças climáticas, pois sua fisiologia e distribuição são claramente influenciadas pela temperatura e precipitação (Buckley et al., 2012).

Mudanças ambientais locais ou regionais podem provocar mudanças evolutivas nas espécies resultando em plasticidade fisiológica e adaptação (Etterson e Shaw, 2001), porém essa adaptação é refém das relações genéticas ligadas às funções de termorregulação (Huey et al., 2003), onde na maioria das vezes mudanças ambientais bruscas ou ocorridas em um curto período de tempo resultam em extinção e não em adaptação (Dillon et al.; Sinervo et al., 2010). Mesmo quando existe adaptação fisiológica em um curto intervalo de tempo, se tal adaptação permite regulação para

apenas uma ou poucas características térmicas como temperatura ótima (T_{otm}) ou CT_{max} , a população ainda estará fadada ao desaparecimento, pois essas adaptações podem promover diminuição na distribuição espacial, e conseqüentemente acelerar o desaparecimento em caso de aumentos na temperatura (Etterson e Shaw, 2001; Sinervo et al., 2010).

As diferentes variações ambientais como, temperatura do ar e substrato, incidência solar direta, influenciam diretamente na temperatura corporal dos lagartos, e as respostas a estes fatores podem variar de forma interespecífica, de acordo com ambiente onde os lagartos se encontram (Bergallo e Rocha, 1993; Hatano et al., 2001; Kiefer et al., 2005; Kohlsdorf e Navas, 2006a; Rocha e Bergallo, 1990; Van Sluys, 1992). Estudos com lagartos da família Tropiduridae mostram que seu comportamento de termorregulação tende a se adaptar ao ambiente colonizado (Kohlsdorf e Navas, 2006a). O gênero *Tropidurus* é um dos mais diversos e amplamente distribuídos na América do Sul (Rodrigues, 1987; Vanzolini, 1972), ocorrendo desde ambientes florestais fechados à savanas abertas e afloramentos rochosos. Tais lagartos geralmente possuem hábito arbóreo ou saxícola (Rodrigues, 1987). As evidências disponíveis até o momento mostram que a temperatura corporal das espécies que compõem o gênero está diretamente relacionada ao tipo de ambiente onde elas ocorrem, variando de acordo com a temperatura do substrato e incidência direta de luz (Cruz, 1998; Frost et al., 2001; Hatano et al., 2001; Kiefer et al., 2005; Van Sluys, 1992; Vitt e Carvalho, 1995). Desvendar os mecanismos relacionados às diferentes relações entre a temperatura e o ambiente ocupado é de suma importância para compreender o potencial adaptativo das populações locais, pois nos permite mensurar objetivamente a plasticidade fisiológica e fenotípica das espécies estudadas de acordo com o ambiente onde vivem, assim como também estimar os possíveis riscos de extinção das populações (Pontes-Da-Silva et al., 2018).

Desta maneira, considerando que para entender as variações naturais em termos adaptativos e da plasticidade fenotípica são necessárias comparações entre e dentro de populações, a escala ecológica do estudo pode influenciar nas respostas encontradas (Pie et al., 2017). Sendo assim, estudos ecofisiológicos são de suma importância para compreender a evolução das adaptações e da plasticidade fenotípica em relação à diferentes habitats e à ambientes heterogêneos, e substanciar a utilização de tais informações para a conservação da biodiversidade. Uma vez que organismos ectotérmicos tendem a se adaptar às condições ambientais oferecidas, espera-se que

existam diferenças quanto à tolerância e amplitude térmica dos indivíduos de ambientes abertos e fechados. Considerando que indivíduos de ambientes abertos estão expostos à maiores índices de insolação e, conseqüentemente, maiores temperaturas, e com isso tendem a moldar sua condição fisiológica às condições ambientais oferecidas, é possível que indivíduos ocupando ambientes fechados estejam mais sujeitos às variações ambientais previstas para o futuro (De Souza Terra et al., 2018; Senior et al., 2019).

Objetivo geral

Investigar como as mudanças ambientais de origem antrópica e a variação natural dos habitats afetam a ecofisiologia e o risco de extinção de espécies e populações de lagartos em diferentes escalas ecológicas.

Objetivos específicos

Capítulo 1: verificar a existência de plasticidade térmica e potencial adaptativo de uma espécie de lagarto endêmico do Cerrado, usando parâmetros ecofisiológicos, para estimar o risco de extinção levando em consideração as variações de microclima e micro-habitat.

Capítulo 2: avaliar as diferenças de performance ecofisiológica de tolerância e amplitude térmica, assim como, a flexibilidade térmica e as variações da temperatura corporal em relação aos ambientes de uma espécie de lagarto ocorrendo em ambiente natural e urbano (antropizado) adjacentes, e avaliar os possíveis riscos de extinção levando em consideração as variáveis ambientais.

Dado o amplo escopo do projeto, e as diferenças fundamentais de cada capítulo, hipóteses e predições específicas para cada um são apresentadas juntamente com a seção de análise de dados.

Material e métodos

Coleta de dados ambientais

Os dados ambientais serão coletados com auxílio de um coletor automático de dados ambientais (HOBOS Pro v2 Temperature/RelativeHumidity, Onset Computer Corporation, MA, EUA), onde serão coletados dados de umidade e temperatura, a fim de determinar a variação e amplitude térmica do ambiente e dos microhabitats. Estes serão instalados nos locais de coleta e permanecerão ativos durante todos os dias do período de coleta em questão. Os dados climáticos em escala regional serão ainda, caso

necessário, complementados com aqueles provenientes de estações meteorológicas e de bancos de dados públicos.

Dados ecofisiológicos

Os lagartos serão capturados em busca ativa com auxílio de varas com laços. Logo após a captura, registramos a temperatura dos lagartos, do substrato, a 5 cm do substrato e a 1 metro. Então, os lagartos serão levados ao laboratório para a coleta de dados ecofisiológicos: temperatura preferencial (T_{pref}), desempenho locomotor (V_{cor}), temperatura crítica mínima (T_{min}) e temperatura crítica máxima (T_{max}). Este método é altamente replicável, e já consagrado em estudos com ecofisiologia de lagartos (Sinervo et al., 2010). A padronização deste tipo de coleta de dados é reconhecida e replicada em diferentes partes do mundo, e não trazem nenhum prejuízo aos indivíduos submetidos aos testes.

A temperatura preferencial é estimada utilizando um gradiente de temperatura, simulando um ambiente a céu aberto com auxílio de lâmpadas térmicas, e um ambiente sombreado, feito com bolsas de gelo. Tais “extremos” não atingem temperaturas nocivas aos animais, e refletem um gradiente ambiental potencialmente encontrado pelos indivíduos em situação natural. As temperaturas são registradas automaticamente a cada minuto durante uma hora, por um medidor de temperatura automático (OMEGA ENGINEERING, INC. Software for TC-08, version 5.22.6), com um termostato conectado ao ventre do lagarto, onde posteriormente são calculados os valores médios com base em cada registro, e partir dessas médias é possível calcular as horas de atividades naturais com base nas temperaturas preferencias experimentadas em laboratório. Após um intervalo de 30 minutos, se inicia a coleta do desempenho locomotor.

O desempenho locomotor será registrado em pista de madeira (300 cm x 30 cm x 40 cm), onde o lagarto será estimulado a correr o mais rápido possível, simulando uma perseguição predatória, para verificar a velocidade máxima atingida em diferentes temperaturas (frio, ambiente e quente), na distância de 100 cm, e para minimizar efeitos de distúrbio, cada lagarto corre duas vezes em cada temperatura. A temperatura cloacal é aferida imediatamente antes da corrida com um termômetro cloacal de leitura rápida, com precisão de 0,2° C. A primeira corrida em temperatura ambiente, e as corridas frias e quentes, são consideradas a partir de 5°C a menos ou a mais, respectivamente. Serão gravados vídeos das corridas a 420 fps, com uma câmera digital Casio HS EX-FH25,

montada em um tripé no centro da pista. O tempo médio de descanso entre as corridas em cada temperatura é de 30 minutos. Os vídeos serão analisados com o programa Tracker 4.80, de onde é extraída a velocidade máxima de cada corrida, e apenas a velocidade maior registrada para cada temperatura é utilizada nas análises de dados.

As temperaturas críticas mínima e máxima são registradas usando um termômetro cloacal de leitura rápida com precisão de 0,2° C. Para a verificação da temperatura crítica mínima, os lagartos são colocados em um recipiente alocado com gelo e são resfriados até que percam suas funções de respostas comportamentais habituais (i.e., perda de função, mas sem levar o animal à morte), então a temperatura é verificada imediatamente. Já a verificação da temperatura crítica máxima é feita à luz solar, onde os indivíduos são colocados em um recipiente fechado e, sob constante cuidado do observador, expostos ao sol, onde se aquecem até perderem as funções, e a temperatura então é medida imediatamente. Para ambas as coletas de temperatura críticas, a perda da função é verificada ao colocar o lagarto com o ventre para cima e, se este não é capaz de voltar à posição natural, com o ventre para baixo, a temperatura é imediatamente registrada. Existe um intervalo de duas horas entre as corridas e a coleta da temperatura crítica mínima, e um intervalo de no mínimo 12 horas entre a coleta das temperaturas críticas.

Aclimatação

Iremos coletar em torno de 10 indivíduos por ambiente, i.e., totalizando em torno de 20 indivíduos. Logo após a chegada ao laboratório, os lagartos serão acomodados individualmente em caixas plásticas (20 x 30 x 11 cm), caracterizadas como terrários (forrados com vermiculita e serapilheira) e, então, os lagartos serão submetidos a coleta de todos os dados ecofisiológicos como descrito acima

Após 24h da realização da temperatura crítica máxima, os indivíduos serão submetidos ao processo de aclimatação. Utilizaremos uma lâmpada de 90 w colocada a aproximadamente 25 cm dos terrários para criar um gradiente térmico que varie entre 25° e 40° C (valor mínimo 1°C abaixo da temperatura média para o município), e seguirá o período de atividade de campo (entre 9:00 e 18:00). Os lagartos serão mantidos em aclimatação durante o período de 8 semanas, levando em consideração o tempo de aclimatação suficiente para a observação de uma resposta fisiológica à exposição a temperaturas constantes acima das experimentadas em campo (Murrish and Vance 1968, Terblanche et al. 2007, Angilletta 2009, Clusella-Trullas and Chown 2014,

Gunderson and Stillman 2015). Após o período de aclimação, os lagartos serão novamente submetidos a coleta dos dados ecofisiológicos, através da repetição do protocolo exposto acima.

Análise de dados

Capítulo 1: escala local (*Tropidurus itambere*)

Os dados serão coletados em duas áreas de Cerrado no Parque do Bacaba, Nova Xavantina, MT. Os lagartos serão coletados em uma área de cerrado rupestre bem preservado e outra com claras influências de degradação antrópica. O cerrado rupestre é ambiente savânico estabelecido sobre afloramentos rochosos, extrato arbóreo arbustivo ralo e com menor presença de gramíneas (Abad e Marimon, 2008; Ribeiro e Walter, 1998a). O cerrado rupestre degradado possui extrato arbustivo e arbóreo muito menor, de forma que os indivíduos estarão sempre muito mais expostos a altas temperaturas ambientais e menores chances de termorregulação à sombra. Tais diferenças serão estimadas quantitativamente com base na coleta de dados microclimáticos de temperatura e umidade coletados automaticamente (HOBOS) durante todos os dias de coleta, em cada fitofisionomia (como descrito acima).

Considerando que répteis, em geral, apresentam plasticidade térmica em aclimação de curto prazo no sentido de ajustar o desempenho fisiológico às condições térmicas locais (Seebacher 2005, Gunderson and Stillman 2015, Pintor et al. 2016), e que os lagartos tendem a adaptar sua temperatura corporal às variações de temperatura ambiental, espera-se um ajuste fisiológico térmico de aumento da temperatura corporal preferencial após o processo de aclimação em relação à temperatura preferencial registrada antes da aclimação. Ainda, visto que existe uma associação entre as temperaturas corporais de atividade e preferencial, e estas correspondem à temperatura ótima (T_{otm}) de desempenho locomotor, é esperado que, após a aclimação, os lagartos mostrem um aumento na temperatura em diferentes coletas ecofisiológicas (T_{pref} , CT_{max} , CT_{min} , V_{cor}) em relação aos dados coletados logo após a captura em campo. Assim, temperaturas preferenciais (T_{pref}) e crítica máxima (CT_{max}) serão maiores após aclimação, assim como será observada uma maior amplitude do desempenho locomotor (T_{otm}), ou seja, haverá uma redução da sensibilidade térmica do desempenho (Huey and Bennett 1987, Huey and Kingsolver 1989, M.J 2009). Se tais hipóteses estiverem corretas, observaremos uma flexibilidade na sensibilidade térmica de uma população de lagartos ocorrendo em gradiente ambiental (Cerrado rupestre – Cerrado

rupestre degradado), indicando alta plasticidade das populações ocorrendo em zonas de transição ambiental (Huey et al. 2009, Senior et al. 2019).

Para verificar a existência de plasticidade fenotípica das características ecofisiológicas em relação às condições climáticas que os indivíduos foram expostos antes e depois da aclimação, usaremos um teste multivariado de igualdade de variância, ou seja, um teste de Levene estatisticamente adaptado para atuar como no desenho de uma MANOVA (Levene 1960, Nogueira et al. 2011, Friendly and Sigal 2018), para verificar se houve redução na variação em cada característica após a aclimação, verificando assim sinais de ajustes plásticos para as condições de aclimação feita em laboratório. Também testaremos se os dados ecofisiológicos variaram entre os lagartos dos dois ambientes, usando modelos lineares para cada um deles (T_{pref} , CT_{max} , CT_{min} , V_{cor}) (Llewelyn et al. 2018). Usaremos os dados microclimáticos do ambiente natural e as velocidades de corrida V_{cor} para construir superfícies de performance através de Modelos Mistos Aditivos Generalizados, usando a função “*gamm*” do pacote *mgcv* (Wood, 2017), onde, as medidas de tamanho e massa entram como covariáveis para melhor explicar a variação do modelo. Criaremos também superfícies dos modelos de desempenho de *T. itambere* em função das condições ambientais atuais e futuras (50 e 100 anos) das duas áreas usando a função *transform_raster* do pacote *Mapinguari* (Caetano, 2019). Usaremos os dados de CT_{min} , CT_{max} , pré e pós aclimação para verificar a existência de plasticidade térmica em relação as temperaturas críticas e de amplitude térmica dos lagartos. Todas as análises serão realizadas no programa R (R Core Team, 2019).

Capítulo 2: escala local e regional (*Tropidurus torquatus*)

Neste capítulo, iremos comparar a ecofisiologia de populações em áreas naturais e antropizadas da mesma espécie de lagarto, *Tropidurus torquatus*, em área de Cerrado (Mato Grosso) e Mata Atlântica (Paraná). Os lagartos serão coletados em áreas florestais naturais e em áreas antropizadas (urbana) adjacentes, nos dois estados. No Bioma Cerrado, os lagartos serão coletados na mata de galeria do Parque do Bacaba, e no perímetro urbano do município de Nova Xavantina-MT. E em Mata Atlântica, os lagartos também serão coletados em áreas naturais e urbanas. Tanto os ambientes (natural e urbano), quanto os biomas (Cerrado e Mata Atlântica), são completamente diferentes, principalmente termicamente, sendo um ambiente com porte florestal e alta umidade, enquanto a área urbana oferece temperaturas mais altas e menor umidade. O

mesmo acontece com os biomas, enquanto o Cerrado atinge temperatura máximas extremas e baixa umidade, principalmente em períodos de seca, a Mata Atlântica atinge temperaturas mínimas extremas durante o inverno. Desta forma, podemos levantar as seguintes questões: a performance locomotora e amplitude térmica dos lagartos da Mata Atlântica tende a ser diferente da performance dos lagartos do Cerrado, devido a influência das condições climáticas dos diferentes locais em que as populações estão estabelecidas no meio natural? Visto que os ambientes urbanos são mais similares entre si, a performance dos lagartos destes ambientes nos diferentes biomas tenderá a ser similar, ou seguirá o padrão dos ambientes naturais? Lagartos que vivem em áreas urbanas estão mais adaptados à ambientes com temperaturas mais elevadas e com isso seriam menos afetados pelas mudanças ambientais? A amplitude térmica dos lagartos das áreas urbanas tende a ser menor quando comparada com os lagartos de ambiente natural? Nós hipotetizamos que lagartos dos ambientes antropizados tenderão a ter uma melhor performance locomotora, pois estão expostos a maiores temperaturas, e com isso tenderão a estar mais adaptados a possíveis aumentos na temperatura, correndo menores riscos de extinção (Frost et al., 2001; Kiefer et al., 2005; Kohlsdorf et al., 2004). Porém, eles também tenderão a ter uma menor amplitude térmica, pois estão expostos a menor variação de temperatura, o que poderá influenciar de forma mais expressiva o seu risco de extinção. Se estas hipóteses forem verdadeiras, nossas previsões são que haverá convergência entre as respostas ecofisiológica e de risco de extinção dos lagartos de áreas antropizadas em ambos os biomas, e que tais características serão diferentes nos ambientes naturais, de acordo com a variação microclimática de cada local.

Para estimar a performance e o risco de extinção das populações em escala local, usaremos os dados de desempenho locomotor (V_{cor}), juntamente com os dados das variações de microclima destes ambientes de ocorrência da espécie *T. torquatus*. Construiremos curvas de desempenho locomotor através de Modelos Mistos Aditivos Generalizados com a função “*gamm*” do pacote *mgcv* (Wood, 2017), onde as medidas de tamanho e massa entram como covariáveis para melhor explicar a variação do modelo. Criaremos superfícies dos modelos de desempenho de *T. torquatus* em função das condições ambientais atuais e futuras das duas áreas usando a função *transform_rasters* do pacote *Mapinguari* (Caetano, 2019), pré e pós aclimação para verificar o potencial adaptativo e o quão plásticas termicamente as populações amostradas são em relação às mudanças ambientais. Para verificar as diferenças na amplitude térmica dos lagartos das diferentes áreas usaremos os dados de CT_{min} , CT_{max}

pré e pós aclimatação para verificar a existência de flexibilidade térmica das temperaturas críticas. Todas as análises serão realizadas no programa R. Os dados ambientais serão extraídos do banco de dados Worldclim 2 (Fick and Hijmans 2017) e também com auxílio de Hobos distribuídos nos locais de coleta dos lagartos.

Resultados esperados e impacto previsto do projeto

Como produtos finais desta tese de doutorado esperamos construir conhecimento científico significativo a respeito da evolução de características ecofisiológicas de lagartos em resposta à mudanças ambientais e variação natural dos habitats, em diferentes escalas ecológicas. Desta maneira, esperamos que seja possível entender como características do microclima influenciam na performance locomotora de lagartos que ocorrem em áreas adjacentes em nível local e regional, assim como compreender como e quanto a evolução desta característica é influenciada pelas variações climáticas em nível regional. Como consequência geral de todo esse conhecimento, esperamos fornecer subsídios para o entendimento do quanto as mudanças climáticas influenciam os padrões de conservação de animais ectotérmicos, bem como na evolução das respostas fisiológicas frente às mudanças climáticas previstas para um futuro próximo. Ainda, nossos resultados poderão auxiliar em planejamentos de medidas para conservação tanto de espécies quanto de áreas de ocorrência, de acordo com a área de distribuição e o potencial adaptativo das populações e linhagens, além de fornecer detalhes se espécies podem ou não ser incluídas em listas de risco de extinção. Finalmente, tais resultados serão publicados em periódicos científicos de alto impacto internacional.

Referências Bibliográficas

Abad, J. C. S.; Marimon, B. S. Caracterização e diagnóstico ambiental do Parque Municipal do Bacaba (Nova Xavantina, MT). In: (Ed.). **Gestão e educação ambiental: água, biodiversidade e cultura**. São Carlos: RIMA, 2008. p.23-53.

Ackerly, D. Community assembly, niche conservatism, and adaptive evolution in changing environments. **Revista Internacional de Ciências Vegetais**, v. 164(3 Suppl), p. S165-S184, 2003.

Adolph, S. C.; Porter, W. P. Temperature, activity, and lizard life histories. **The American Naturalist**, v. 142, n. 2, p. 273-295, Aug 1993. ISSN 0003-0147 (Print) 0003-0147.

Angilletta, M. J. Estimating and comparing thermal performance curves. **Journal of Thermal Biology**, v. 31, n. 7, p. 541-545, 2006/10/01/ 2006. ISSN 0306-4565. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456506000805>>.

Aranda, R.; Gracioli, G. Spatial-temporal distribution of the Hymenoptera in the Brazilian Savanna and the effects of habitat heterogeneity on these patterns. **Journal of Insect Conservation**, 2015.

Araújo, M. B. Climate change and spatial conservation planning. In: MOILANEN, A.; WILSON, K. A., *et al* (Ed.). **Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools**. Oxford University: Press, 2009. p.172 - 184.

Bergallo, H. D.; Rocha, C. Activity patterns and body temperatures of two sympatric lizards (*Tropidurus torquatus* and *Cnemidophorus ocellifer*) with different foraging tactics in southeastern Brazil. **Amphibia-Reptilia**, v. 14, p. 312-315, 1993.

Berriozabal-Islas, C. et al. Effect of climate change in lizards of the genus *Xenosaurus* (Xenosauridae) based on projected changes in climatic suitability and climatic niche conservatism. **Ecologia e Evolução**, v. 8, p. 1-12, 2018.

Bogert, C. M. Thermoregulation in reptiles, a factor in evolution. **Evolution**, v. 3, n. 3, p. 195-211, 1949. ISSN 00143820, 15585646. Disponível em: <
<http://www.jstor.org/stable/2405558> >.

Buckley, L. B.; Hurlbert, A. H.; Jetz, W. Broad-scale ecological implications of ectothermy and endothermy in changing environments. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 9, p. 873-885, 2012/09/01 2012. ISSN 1466-822X. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00737.x> >. Acesso em: 2018/11/05.

Caetano, G. H. O., Santos, J.C. & Sinervo, B. Mappinguari: Process-Based Biogeographical Analysis., 2019.

Ceia-Hasse, A. et al. Integrating ecophysiological models into species distribution projections of European reptile range shifts in response to climate change. **Ecography**, v. 37, n. 7, p. 679-688, 2014/07/01 2014. ISSN 0906-7590. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00600.x> >. Acesso em: 2018/11/04.

Colwell, R. K. et al. Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. **Science**, v. 322, n. 5899, p. 258 - 261, 2008. Disponível em: < <http://science.sciencemag.org/content/322/5899/258.abstract> >.

Cruz, F. Natural history of *Tropidurus spinulosus* (Squamata: Tropiduridae), from the dry chaco of Salta, Argentina. **Revista Herpetológica**, v. 8, p. 107-110, 1998.

De Souza Terra, J.; Ortega, Z.; Ferreira, V. L. Thermal ecology and microhabitat use of an arboreal lizard in two different Pantanal wetland phytophysionomies (Brazil). **Journal Thermal Biology**, v. 75, p. 81-87, Jul 2018. ISSN 0306-4565 (Print) 0306-4565.

Di Cola, V. et al. Ecospat: um pacote R para apoiar análises espaciais e modelagem de nichos e distribuições de espécies. **Ecography**, v. 6, p. 774-787, 2017.

Diele-Viegas, L.; Rocha, C. Unraveling the influences of climate change in Lepidosauria (Reptilia). **Journal of Thermal Biology**, v. 78, p. 401-414, 2018.

Dillon, M. E.; Wang, G.; Huey, R. B. Global metabolic impacts of recent climate warming. **Nature**, v. 467, p. 704 - 706, 10/06/online 2010. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/nature09407> >.

Domingos, F. M. C. B. et al. In the shadows: Phylogenomics and coalescent species delimitation unveil cryptic diversity in a Cerrado endemic lizard (Squamata: *Tropidurus*). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 107, p. 455-465, 2017/02/01/2017. ISSN 1055-7903. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1055790316304109> >.

Eller, F. et al. Cosmopolitan species as models for ecophysiological responses to global change: the common reed *Phragmites australis*. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1833, 2017. ISSN 1664-462X. Disponível em: < <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2017.01833> >.

Etterson, J. R.; Shaw, R. G. Constraint to adaptive evolution in response to global warming. **Science**, v. 294, n. 5540, p. 151-154, Oct 5 2001. ISSN 0036-8075 (Print) 0036-8075.

Frost, D. R. et al. Phylogenetics of the lizard genus *Tropidurus* (Squamata: Tropiduridae: Tropidurinae): direct optimization, descriptive efficiency, and sensitivity analysis of congruence between molecular data and morphology. **Mol Phylogenet Evol**, v. 21, n. 3, p. 352-371, Dec 2001. ISSN 1055-7903 (Print) 1055-7903.

Hatano, F. H. et al. Thermal ecology and activity patterns of the lizard community of the Restinga of Jurubatiba, Macaé, RJ. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 61, p. 287-294, 2001. ISSN 0034-7108. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71082001000200011&nrm=iso >.

Heikkinen, R. K. et al. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 30, n. 6, p. 751-777, 2006/12/01 2006. ISSN 0309-1333. Disponível em: <
<https://doi.org/10.1177/0309133306071957> >. Acesso em: 2018/11/04.

Herrando-Pérez, S. et al. Intraspecific variation in lizard heat tolerance alters estimates of climate impact. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, p. 247–257, 2019.

Hoffmann, A.; Sgro, C. Climate change and evolutionary adaptation. **Nature**, v. 470, p. 479-485, 2011.

Huey, R.; Pianka, E. Temporal separation of activity and interspecific dietary overlap (with an Appendix by S. L. Pimm). In: (Ed.). **Ecologia de Lagarto: Estudos de um Organismo Modelo**: Harvard University Press, 1983. p.281-296.

Huey, R. B. et al. Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, p. 1939-48, 2009. Disponível em: <
<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/early/2009/02/27/rspb.2008.1957.abstract> >.

Huey, R. B.; Hertz, P. E.; Sinervo, B. Behavioral drive versus behavioral inertia in evolution: a null model approach. **The American Naturalist**, v. 161, n. 3, p. 357-366, Mar 2003. ISSN 0003-0147 (Print) 0003-0147.

Huey, R. B. et al. Predicting organismal vulnerability to climate warming: roles of behaviour, physiology and adaptation. **Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci**, v. 367, n. 1596, p. 1665-79, Jun 19 2012. ISSN 0962-8436.

Ippc. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>, p.151 2014

Kiefer, M.; Van Sluys, M.; Rocha, C. Body temperatures of *Tropidurus torquatus* (Squamata, Tropiduridae) from coastal populations: do body temperatures vary along their geographic range? **Journal of Thermal Biology** v. 30, p. 449-456, 2005.

Kohlsdorf, T.; Navas, C. Ecological constraints on the association between field and preferred temperatures in Tropidurinae lizards. **Ecologia Evolutiva**, v. 20, p. 549-564, 2006a.

Kohlsdorf, T.; Navas, C. A. Ecological constraints on the evolutionary association between field and preferred temperatures in Tropidurinae lizards. **Evolutionary Ecology**, v. 20, n. 6, p. 549-564, 2006/11/01 2006b. ISSN 1573-8477. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s10682-006-9116-x> >.

Kohlsdorf, T. et al. Locomotor performance of closely related *Tropidurus* species: relationships with physiological parameters and ecological divergence. **Journal of Experimental Biology**, v. 207, n. 7, p. 1183-1192, 2004. ISSN 0022-0949.

Kubisch, E. L. et al. Local extinction risk of three species of lizard from Patagonia as a result of global warming. **Canadian Journal of Zoology**, v. 94, n. 1, p. 49-59, 2016/01/01 2015. ISSN 0008-4301. Disponível em: < <https://doi.org/10.1139/cjz-2015-0024> >. Acesso em: 2018/11/04.

Lynch, M.; Gabriel, W. Environmental tolerance. **The American Naturalist**, v. 129, n. 2, p. 283-303, 1987. ISSN 00030147, 15375323. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/2462004> >.

Maguire, K. C. et al. Intraspecific Niche Models for Ponderosa Pine (*Pinus ponderosa*) Suggest Potential Variability in Population-Level Response to Climate Change. **Syst Biol**, v. 67, n. 6, p. 965-978, Nov 1 2018. ISSN 1063-5157.

Marimon, B.; Varella, R.; Marimon-Junior, B. H. Fitossociologia de uma área de cerrado de encosta em Nova Xavantina, Mato Grosso. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 3, p. 83-101, 1998.

Myers, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000/02/01 2000. ISSN 1476-4687. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/35002501> >.

Nogueira, C. et al. Vicariance and endemism in a Neotropical savanna hotspot: distribution patterns of Cerrado Squamate reptiles. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 10, p. 1907-1922, 2011/10/01 2011. ISSN 0305-0270. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02538.x> >. Acesso em: 2018/11/05.

Pandit, S. N. et al. Climate change risks, extinction debt, and conservation implications for a threatened freshwater fish: Carmine shiner (*Notropis percobromus*). **Science of The Total Environment**, v. 598, p. 1-11, 2017/11/15/ 2017. ISSN 0048-9697. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717307593> >.

Pianka, E. R. **Ecology and Natural History of Desert Lizards** Analyses of the Ecological Niche and Community Structure. Princeton University Press, 1986. ISBN null. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1m3nzwt> >.

Pianka, E. R.; Goodyear, S. E. Lizard responses to wildfire in arid interior Australia: Long-term experimental data and commonalities with other studies. **Austral Ecology**, v. 37, n. 1, p. 1-11, 2012/02/01 2011. ISSN 1442-9985. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2010.02234.x> >. Acesso em: 2018/11/05.

Piantoni, C.; Navas, C. A.; Ibarzüengoytía, N. R. Vulnerability to climate warming of four genera of New World iguanians based on their thermal ecology. **Animal Conservation**, v. 19, n. 4, p. 391-400, 2016/08/01 2016. ISSN 1367-9430. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/acv.12255> >. Acesso em: 2018/11/05.

Pie, M. R. et al. The evolution of climatic niches in squamate reptiles. **Proc Biol Sci**, v. 284, n. 1858, Jul 12 2017. ISSN 0962-8452.

Pontes-Da-Silva, E. et al. Extinction risks forced by climatic change and intraspecific variation in the thermal physiology of a tropical lizard. **Journal of Thermal Biology**, v. 73, p. 50-60, 2018/04/01/ 2018. ISSN 0306-4565. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456517303698> >.

Post, E. **Ecology of Climate Change: The Importance of Biotic Interactions**. Princeton University Press, 2013. ISBN 9780691148472. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/j.ctt2jc8jj> >.

Quintero, I.; Wiens, J. J. Rates of projected climate change dramatically exceed past rates of climatic niche evolution among vertebrate species. **Ecology Letters**, v. 16, n. 8, p. 1095-1103, 2013. ISSN 1461-023X. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ele.12144> >.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing 2019.

Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M. e ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Brasília: Embrapa, 1998a. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998b. p.98-168.

Rocha, C.; Bergallo, H. D. Thermal biology and flight distance of *Tropidurus oreadicus* (Sauria Iguanidae) in an area of Amazonian Brazil. **Ethology Ecology and Evolution**, v. 2, p. 263-268, 1990.

Rodrigues, J. F. M.; Borges-Leite, M. J.; Borges-Nojosa, D. M. Does climate influence assemblages of anurans and lizards in a coastal area of north-eastern Brazil? **Acta Oecologica**, v. 77, p. 187-192, 2016/11/01/ 2016. ISSN 1146-609X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1146609X16302880> >.

Rodrigues, M. T. Sistemática, ecologia e zoogeografia dos *Tropidurus* do grupo *Torquatus* ao sul do Rio Amazonas (Sauria, Iguanidae). **Arquivos de Zoologia, São Paulo**, v. 31, p. 105, 1987.

Senior, A. F. et al. Variation in thermal biology of three closely related lizard species along an elevation gradient. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 127, n. 2, p. 278-291, 2019. ISSN 0024-4066. Disponível em: < <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blz046> >. Acesso em: 6/24/2019.

Sinervo, B. Evolution of thermal physiology and growth rate between populations of the western fence lizard (*Sceloporus occidentalis*). **Oecologia**, v. 83, n. 2, p. 228-237, June 01 1990. ISSN 1432-1939. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/BF00317757> >

Sinervo, B. et al. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. **Science**, v. 328, n. 5980, p. 894 - 899, 2010. Disponível em: < <http://science.sciencemag.org/content/328/5980/894.abstract> >.

Sinervo, B. et al. Response to comment on “erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches”. **Science**, v. 332, n. 6029, p. 537, 2011. Disponível em: < <http://science.sciencemag.org/content/332/6029/537.2.abstract> >.

Thomas, C. D. et al. Extinction risk from climate change. **Nature**, v. 427, p. 145 - 148, 01/08/online 2004. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/nature02121> >.

Thuiller, W. Climate change and the ecologist. **Nature**, v. 448, p. 550 - 552, 08/01/online 2007. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/448550a> >.

Tonini, J. F. R. et al. Fully-sampled phylogenies of squamates reveal evolutionary patterns in threat status. **Biological Conservation**, v. 204, p. 23-31, 2016/12/01/ 2016. ISSN 0006-3207. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320716301483> >.

Urban, C. M. Climate change. Accelerating extinction risk from climate change. **Science**, v. 348, p. 571-573, 2015.

Valladares, F. et al. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. **Ecology Letters**, v. 17, n. 11, p. 1351-1364, 2014/11/01 2014. ISSN 1461-023X. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/ele.12348> >. Acesso em: 2018/11/05.

Van Sluys, M. Aspectos da ecologia do lagarto *Tropidurus itambere* (Tropiduridae), em uma área do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 52, n. 1, p. 181-185, 1992.

Vanzolini, P. Miscellaneous notes on the ecology of some Brazilian lizards (Sauria). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 26, n. 8, p. 83-115, 1972.

Vargens, M., M. F.; Dias, E.; Lira-Da-Silva, R., M. Ecologia térmica, período de atividade e uso de microhabitat do lagarto *Tropidurus hygomi* (Tropiduridae) na Restinga de Abaeté, Salvador, Bahia, Brasil. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, v. 23, p. 143-156, 2008.

Visser, M. E. Interactions of climate change and species. **Nature**, v. 535, p. 236 - 237, 06/29/online 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/nature18905> >.

Vitt, L.; Carvalho, C., Morato. Niche partitioning in a tropical wet season: lizards in the Lavrado Area of Northern Brazil. **Copeia** v. 1995, p. 305, 1995.

Walters, R. J.; Blanckenhorn, W. U.; Berger, D. Forecasting extinction risk of ectotherms under climate warming: an evolutionary perspective. **Functional Ecology**, v. 26, n. 6, p. 1324-1338, 2012/12/01 2012. ISSN 0269-8463. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2012.02045.x> >. Acesso em: 2018/11/04.

Walther, G.-R. et al. Ecological responses to recent climate change. **Nature**, v. 416, p. 389 - 395, 03/28/online 2002. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/416389a> >.

Wood, S. N. **Generalized Additive Models: An Introduction with R**. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017.

Yuan, F., Landry et al. Ecophysiological variation across a forest-ecotone gradient produces divergent climate change vulnerability within species. **Ecografia**, v. 41, p. 1-11, 2018.

Angilletta, J. M. J. 2009. Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis. Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis:1-302.

Clusella-Trullas, S., and S. L. Chown. 2014. Lizard thermal trait variation at multiple scales: a review. *Journal of Comparative Physiology B* **184**:5-21.

- Fick, S. E., and R. J. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* **37**:4302-4315.
- Friendly, M., and M. Sigal. 2018. Visualizing tests for equality of covariance matrices. *Taylor & Francis Journals* **74**:144-155.
- Gunderson, A. R., and J. H. Stillman. 2015. Plasticity in thermal tolerance has limited potential to buffer ectotherms from global warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **282**:20150401.
- Huey, R. B., and A. F. Bennett. 1987. Phylogenetic studies of coadaptation: preferred temperatures versus optimal performance temperatures of lizards. *Evolution* **41**:1098-1115.
- Huey, R. B., C. A. Deutsch, J. J. Tewksbury, L. J. Vitt, P. E. Hertz, H. J. Álvarez Pérez, and T. Garland. 2009. Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*:1939-1948.
- Huey, R. B., and J. G. Kingsolver. 1989. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. *Trends Ecol Evol* **4**:131-135.
- Levene, H. 1960. Robust Tests for Equality of Variances. Pages 278-292 *Contribution to Probability and Statistics*. CA: Stanford University Press, Stanford.
- Llewelyn, J., S. L. Macdonald, C. Moritz, F. Martins, A. Hatcher, and B. L. Phillips. 2018. Adjusting to climate: Acclimation, adaptation and developmental plasticity in physiological traits of a tropical rainforest lizard. *Integr Zool* **13**:411-427.
- M.J, J. A. 2009. *Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis*. Oxford University Press, Oxford.
- Murrish, D. E., and V. J. Vance. 1968. Physiological responses to temperature acclimation in the lizard *Uta mearnsi*. *Comparative Biochemistry and Physiology* **27**:329-337.
- Nogueira, C., S. Ribeiro, G. C. Costa, and G. R. Colli. 2011. Vicariance and endemism in a Neotropical savanna hotspot: distribution patterns of Cerrado squamate reptiles. *Journal of Biogeography* **38**:1907-1922.
- Pintor, A. F., L. Schwarzkopf, and A. K. Krockenberger. 2016. Extensive acclimation in ectotherms conceals interspecific variation in thermal tolerance limits. *PLoS One* **11**:e0150408.
- Seebacher, F. 2005. A review of thermoregulation and physiological performance in reptiles: What is the role of phenotypic flexibility? *Journal of comparative physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology* **175**:453-461.
- Senior, A. F., Z. S. Atkins, N. Clemann, M. G. Gardner, M. Schroder, G. M. While, B. B. M. Wong, and D. G. Chapple. 2019. Variation in thermal biology of three closely related lizard species along an elevation gradient. *Biological Journal of the Linnean Society* **127**:278-291.
- Terblanche, J. S., J. A. Deere, S. Clusella-Trullas, C. Janion, and S. L. Chown. 2007. Critical thermal limits depend on methodological context. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **274**:2935-2943.