



Instituto de Biociências  
Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal

Thamara Santos de Almeida

**Passado e presente: persistência, extensão de ocorrência e distribuição potencial de uma espécie de roedor subterrâneo endêmica do bioma Pampa e ameaçada de extinção *Ctenomys lami* (Rodentia: Ctenomyidae)**

Porto Alegre

2021

Thamara Santos de Almeida

**Passado e presente: persistência, extensão de ocorrência e distribuição potencial de uma espécie de roedor subterrâneo endêmica do bioma Pampa e ameaçada de extinção *Ctenomys lami* (Rodentia: Ctenomyidae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Área de concentração: Biodiversidade

Orientador: Dr. Thales R. O. de Freitas

Coorientador: Dr. Bruno B. Kubiak

Porto Alegre

2021

Porto Alegre

2021

Thamara Santos de Almeida

**Passado e presente: persistência, extensão de ocorrência e distribuição potencial de uma espécie de roedor subterrâneo endêmica do bioma Pampa e ameaçada de extinção *Ctenomys lami* (Rodentia: Ctenomyidae)**

Aprovada em 27 de agosto de 2021

BANCA EXAMINADORA

Flávia Pereira Tirelli

Andreas Kindel

Gislene Lopes Gonçalves

## Dedicatória

A todas as mulheres cientistas, ou não,  
que vieram antes de mim,  
que hoje lutam ao meu lado,  
e a todas as outras que virão.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível, ainda mais em tempos de desgoverno e pandemia, graças ao apoio, ajuda e companheirismo de muitas pessoas incríveis que tive a sorte de cruzar nessa jornada, espero conseguir ser grata a todas elas. Muitos foram os desafios internos e externos para chegar até aqui, assim como a espécie alvo desse trabalho.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, Thales Renato Ochotorena de Freitas. Obrigada por acreditar em mim no final de 2015, por todas as trocas, conversas em campo e histórias sobre os tucos. Obrigada por apoiar, acreditar e me ajudar a levar adiante todas as ideias ao longo desses anos!

Em um segundo momento, gostaria de agradecer ao doutorando que conheci no final de 2015, em uma disciplina de conservação da graduação da Ulbra, e hoje professor: Dr. Bruno Busnello Kubiak. Obrigada pela acolhida, Bruno, pela confiança no meu trabalho, pelos ensinamentos que vão desde taxidermia a pesquisas em campo e duna, obrigada pelas trocas, conversas, conselhos, apoio e convites para trabalhos.

Também gostaria de agradecer ao outro doutorando que me acolheu na minha entrada no laboratório, hoje professor: Dr. Renan Maestri. Obrigada por me apresentar o mundo da morfometria geométrica e evolução morfológica, Renan, por todos os ensinamentos, trocas e pela disponibilidade de ajudar e ensinar de forma tão didática que tu tens, e também, pela confiança em mim ao longo de todos esses anos e até então.

A professora Dra. Juliana da Silva da Ulbra por acreditar em mim, por ser fonte de inspiração, admiração e por ter me apresentado os Tuco-tucos e o Thales e o Bruno (Projeto Tuco-tuco – UFRGS) em uma disciplina de conservação da graduação em 2015.

Gostaria também de agradecer a toda equipe do Laboratório de Citogenética e Evolução da UFRGS por todo carinho, cumplicidade, trocas e parceria ao longo de todos esses anos: Sandra, Mayara, Marcelo, Luiz, Rafael K, Rafael C, Brenda, Borges, Leo, Binha, Thays, Lucas, Keyla, Bruninha, Denis, Cris, William e Ericksen, Daniel. Gostaria de fazer um agradecimento em especial a Luiza Gasparetto, a Bruna Szyrwelski e a Caroline Charão Sartor, pela amizade e cumplicidade ao longo desses anos. Agradeço também a Lucinha e ao Luciano pela ajuda de sempre.

Agradeço a todos os bolsistas voluntários do projeto de extensão “Além da Universidade: divulgação científica, ciência cidadã e educação ambiental em prol da conservação dos Tuco-tucos” por acreditarem na popularização da ciência em prol de um mundo melhor. Obrigada Luisa Simões, Lenara Gaziero, Bruno Grassi e Mariana Hermelino por tanta motivação! Vocês têm um lugar especial na minha trajetória, as nossas reuniões enchem e enchem de vida a minha semana, em meio ao caos pandêmico. Foi com vocês que pude aprender um pouco mais sobre os desafios e as alegrias do processo de orientação científica, a manter um grupo forte, coeso e engajado.

Agradeço também a todas as pessoas que acompanharam e acompanham nosso trabalho de divulgação científica nas mídias sociais, falo aqui dos seguidores, mas são muito mais que isso, a motivação e troca sobre os tucos, em tempos tão difíceis, nos mantiveram motivados a seguir em frente com esse trabalho.

Aos gestores das UCs que tive o privilégio de poder visitar, infelizmente, de forma breve: Maria Carmen Bastos e André Osório.

As minhas amigas ecólogas maravilhosas que conheci e me aproximei no mestrado na disciplina de Ecologia de Campo: Bruna Claudia da Silva Jorge e Ingridi Camboim Fransceschi. Não tenho nem palavras para agradecer tamanha gratidão a tudo

que vivemos juntas! Foram dias alegres, onde aprendemos e fizemos ciência juntas em campo, intensamente. Foram dias de glória, antes do caos, que pudemos curtir juntas. Foram dias pandêmicos, onde nos apoiamos mais do que tudo. Também tivemos os dias de seleção, que nos ajudamos tanto como se não estivéssemos competindo. Ingridi, te agradeço especialmente por ter me mostrado esse mundo maravilhoso da Ecologia de Paisagem. Bru, em especial, por me maravilhar com esse mundo lindo bem abaixo dos nossos pés e tão desconhecido: o solo. Obrigada gurias pelo apoio recíproco e amizade que construímos. Vocês estiveram do meu lado me apoiando, motivando e ajudando na maior parte dessa trajetória e nos momentos mais lindos e difíceis também, da Eco de Campo para a vida!

As mulheres que fazem parte das redes de apoio e luta por maior diversidade na ciência, que foram essenciais durante a pandemia para me manter em pé e esperançosa: 500 mulheres cientistas de Porto Alegre e Rede Kunhã Asé de Mulheres na Ciência.

As mulheres da Apoena Socioambiental: Daiana, Kellen e Joice. Obrigada por tanto apoio e confiança em mim ao longo desses anos mulheres, e por acreditarem no meu trabalho com vocês. Vocês me inspiram e motivam a lutar por um mundo socioambiental. Vamos em frente e juntas!

As amigas Barbara Schunemann, Giovanna Giudicelli e ao amigo Maico Fiedler do Curso de Biologia Evolutiva da UFRGS.

As minhas amigas do ensino médio: Janis Fontoura, Francielle Paladino, Naiara Souza e Vyctoria Dalegonare, obrigada por tanto apoio e amor durante todos esses anos gurias.

As minhas amigas e aos meus amigos da biologia: Mayte Martin, Karol Honatel, Carolina Dias, Yuri Krause, Robinson Dias, e especialmente, ao Mauricio Hoffmann que divide essa caminhada comigo desde a graduação, e agora, no mestrado.

Ao Guilherme Peres Coelho, por tanto amor, companheirismo, cumplicidade, afeto, carinho, lealdade e tantas outras coisas que me faltam palavras para nomear ao longo de todos esses anos.

A minha família, especialmente, minha mãe Vera Santos que me incentivou desde a graduação a estudar, seguida do meu pai Airton de Almeida, minhas irmãs Tainara e Tâmilis Pereira e meu cunhado Mario Iplinski, as minhas sobrinhas (Alice e Livia) e sobrinhos (Joaquim e Raul) que me encham de amor e esperança por dias melhores.

Agradeço também a minha prima Bruna Diedrich, por me apoiar e amar desde que me conheço por gente, e agora, por compartilhar essa trajetória do mestrado comigo, obrigada por tanto, meu bem.

À minha tia Tânia Diedrich, por tanto apoio, carinho, amor e inspiração pelo caminho dos estudos.

A minha psicóloga Cleonice Zatti por ter me ajudado a persistir apesar dos desafios internos e caos externo dessa caminhada.

A CAPES por me proporcionar a bolsa sem a qual este estudo não teria sido possível. Desejo que outras pessoas tenham essa oportunidade tão valiosa de fazer pesquisa no Brasil, espero que um dia, a ciência e os pesquisadores sejam valorizados como merecem.

Ao PPGBAN pela oportunidade de fazer mestrado, pela acolhida, pela iniciativa de banca de acompanhamento e a todos professores e colegas.

A todas as mulheres que vieram antes de mim e que virão depois e que

possibilitaram a conquista desse espaço, ainda de privilégio, acadêmico. Obrigada por serem fonte de inspiração em meio ao caos, vocês me motivam a seguir em frente!

## **Sumário**

<b>1 RESUMO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>3 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>3</b>
<b>4 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>5 HIPÓTESES .....</b>	<b>14</b>
<b>7 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>23</b>

## 1 RESUMO

A influência antrópica sobre a biodiversidade é tamanha que há pesquisas que sugerem que estamos vivendo a sexta extinção em massa. Mudanças na paisagem, ocasionadas por alterações no uso do solo, constituem uma das principais ameaças no mundo todo. Neste trabalho, avaliamos como os padrões ecológicos do Tuco-tuco-do-lami (*Ctenomys lami*), espécie de roedor subterrâneo endêmica do bioma Pampa e ameaçada de extinção, responde a essas alterações. Tivemos como intuito responder as seguintes perguntas: i) Como a persistência é influenciada pelas hipóteses de quantidade e configuração de habitat em diferentes escalas? ii) Houve redução na extensão de ocorrência e na área de habitat ao longo do tempo? iii) Houve redução na distribuição potencial da espécie? Nossos resultados são consistentes com a hipótese de configuração do habitat como melhor preditora para persistência em uma fina escala, onde quanto maior a aglomeração da formação campestre maior a probabilidade de persistência. A maioria da sua distribuição histórica foi alterada por mudanças no uso do solo, como plantações, urbanização e construção de estradas. Houve redução de 17% na extensão de ocorrência, bem como, a área de habitat representa uma das menores já registradas para a espécie nos últimos anos (41%). Além de redução na distribuição potencial, ainda mais, quando o uso do solo foi considerado. O presente trabalho contribuiu no conhecimento de como padrões ecológicos de espécies ameaçadas de extinção são afetados por alterações antrópicas. As contribuições vão desde recomendações a Unidades de Conservação, participações em planos de manejo, a ações de divulgação científica. Por fim, essa dissertação também apontou algumas limitações trazendo perspectivas de trabalhos futuros.

Palavras-chave: *Ctenomys*; extensão de ocorrência; configuração do habitat; distribuição potencial; uso do solo; persistência; efeito de escala.

## 2 ABSTRACT

The anthropic influence on biodiversity is so significant that research suggests that we are experiencing the sixth mass extinction of Earth. Landscape changes brought by changes in land use defined the main threat worldwide. In this work, we evaluated how the ecological patterns of Tuco-tuco-do-lami (*Ctenomys lami*), an endangered subterranean rodent species endemic to the Pampa biome, respond to these changes. We intended to answer the following questions: i) How is persistence influenced by the hypothesis of habitat amount and habitat configuration at different scales? ii) Has the extent of occurrence and area of habitat been reduced over time? iii) Was there a reduction in the habitat suitability of the species? Our results are consistent with the hypothesis of habitat configuration as the best predictor for persistence at a fine scale. Most of its historical distribution has been altered by changes in land use, such as crops, urbanization, road construction, and others. In addition, there was a reduction in the extent of occurrence and the area of habitat, where the species has one of the smallest areas of habitat ever recorded in recent years. There was also a reduction in its habitat suitability, even more, when land use was considered. The present work contributed to the knowledge of how ecological patterns of endangered species are affected by anthropogenic changes, as well as, the dissertation also brought a series of indications of conservation actions practical actions were made through the development of the dissertation. Contributions range from recommendations to Conservation Units, participation in management plans, to scientific dissemination actions. Finally, this dissertation also pointed out some limitations, bringing perspectives for future work.

Keywords: *Ctenomys*; extent of occurrence; habitat configuration; habitat suitability; land use; persistence; scale of effect.

### **3 INTRODUÇÃO GERAL**

#### **3.1 – Crise da biodiversidade**

Compreender como as atividades antrópicas influenciam a biodiversidade é cada vez mais crucial para a conservação das espécies (Powers & Jetz, 2019). As taxas de extinção atuais são cerca de 1000 vezes maiores que as taxas de extinção de fundo (Pimm et al., 2014). Assim, alguns trabalhos defendem a ideia de que já temos evidências suficientes para inferir que essa taxa está próxima das outras cinco grandes extinções, ocasionando a sexta extinção em massa do planeta (Barnosky et al., 2011; Eldredge, 2011; Ceballos et al., 2015; McCallum, 2015). Estima-se que grandes mamíferos terrestres já foram extirpados de 75% de suas áreas naturais (Faurby & Svenning, 2015).

As principais atividades que causam essa ameaça correspondem a introdução de espécies exóticas, mudanças climáticas, poluição, caça, perda e fragmentação de habitat. Sendo que o impacto dessas atividades sobre as espécies aumentou consideravelmente depois da década de 1970 (Diaz et al., 2019). Dentro dessa perspectiva, diversos trabalhos com mamíferos têm demonstrado como padrões ecológicos como, por exemplo, abundância e distribuição, podem ser afetados por essas atividades em todo o planeta (Benítez-López et al., 2017; Banks et al., 2018; Baisero et al., 2020; Brodie et al., 2021).

#### **3.2 – Uso do solo e ecologia da paisagem**

As alterações no uso do solo levam a perda e fragmentação de habitat, que são duas das principais causas de redução da biodiversidade no mundo todo (Haddad et al., 2015; Chase et al., 2020). Os dois fenômenos apesar de serem processos diferentes, na maioria das vezes, quando ocorrem juntos são comumente negativos. Por outro lado, os efeitos da fragmentação *per se* tem sido alvo de debate nos últimos anos (Fahrig, 2017; Fletcher 2018; Fahrig, 2019). Nesse sentido, uma das urgências atuais é compreender como esses processos influenciam padrões ecológicos, pois as espécies podem responder de forma diferente, e a compreensão adequada pode influenciar estratégias de conservação (Lindenmayer et al., 2020).

A hipótese de quantidade de habitat (HAH) foi proposta recentemente por Fahrig (2013). De acordo com a HAH, padrões ecológicos como a riqueza e abundância de espécies podem ser preditos, exclusivamente, pela quantidade de habitat ao redor do local amostrado em escala local (Fahrig, 2003). Atualmente, diversos estudos têm sido feitos

evidenciando essa hipótese na avaliação de padrões ecológicos em diferentes táxons. Um estudo global recente avaliou a riqueza de artrópodes, plantas, répteis e mamíferos e forneceu suporte para a hipótese da quantidade de hábitat (Watling et al., 2020). Resultados similares também foram demonstrados para a riqueza de mamíferos de pequeno, médio e grande porte (Palmeirim et al., 2019, Rios et al., 2021) e riqueza de aves e tartarugas (Quesnelle et al., 2013). Com base nesses resultados, um exemplo de estratégia de conservação que pode ser escolhida é priorizar a restauração da quantidade de habitat em detrimento da conectividade entre manchas (Falcó & Estades, 2007).

Por outro lado, alguns estudos refutaram essa hipótese, onde a configuração de habitat (eg: tamanho das manchas e isolamento) foi mais importante para prever padrões ecológicos do que a quantidade de habitat (Evju & Sverdrup-Thygesen, 2016; Haddad et al., 2017; Torrenta & Villard, 2017; Bueno & Peres, 2019). Essa hipótese vem ao encontro da teoria da Biogeografia de Ilhas (MacArthur & Wilson, 1963), considerada um paradigma na ecologia, que pressupõe que manchas maiores e mais conectadas abrigam mais espécies. Assim, quando os padrões ecológicos são mais preditos pela configuração de habitat os esforços de conservação deveriam focar em restaurar a conectividade dessas manchas.

O efeito de alguma variável da paisagem sobre determinada espécie e padrão ecológico pode depender da extensão espacial em que essa variável é avaliada (Cushman & McGarigal, 2004, Miguet et al., 2016). Quando a paisagem tem um efeito mais forte sobre uma dada espécie somente em uma determinada escala ou intervalo, mas não em outra, isso é chamado de efeito de escala (Jackson & Fahrig, 2012). Jackson & Fahrig, (2015) revisaram 71 estudos com 583 espécies e viram que as escalas utilizadas nesses estudos são pouco variáveis, bem como, o efeito de escala é pouco justificado biologicamente. McGarigal et al., (2016), em uma revisão com 800 artigos, viram que apesar do reconhecimento do efeito de escala poucos estudos consideram múltiplas escalas. Moraga et al., (2019) avaliaram diferentes padrões ecológicos de uma espécie de rã (*Lithobates sylvaticus*) em Ontário no Canadá, em diversas escalas espaciais, e viram que o efeito de escala pode ser diferente até mesmo para padrões ecológicos distintos da mesma espécie, e que essas diferenças são imprevisíveis. Moll et al., (2020) investigaram como a urbanização afeta 15 espécies de mamíferos em diferentes escalas e viram que esse efeito se manifesta em um amplo espectro de escalas diferentes, sugerindo que, escalas definidas a priori podem ter suas limitações.

Essa falta de compreensão sobre qual escala que mais importa pode comprometer

a compreensão dos resultados das relações entre espécie-paisagem (Jackson & Fahrig, 2015). Nesse sentido, uma forma de evitar isso é utilizar uma abordagem de multiescalas (Brennan, 2002; McGarigal et al., 2016), onde os efeitos de diversas extensões espaciais diferentes são testados ao redor do ponto amostrado. Assim, no campo da ecologia da paisagem e da conservação da biodiversidade temos uma grande questão em aberto: é a quantidade de habitat ou a configuração que importa? E em qual escala?

### **3.3 - Padrões ecológicos populacionais**

#### *3.3.1 – Persistência*

Um exemplo de padrão ecológico importante no contexto de espécies ameaçadas de extinção é a persistência. A capacidade de persistência está relacionada com a teoria de metapopulações, criada para descrever um conjunto de populações locais que persistem devido a um equilíbrio entre extinções locais e colonizações (Levins, 1969, 1970). Diversos são os fatores intrínsecos à espécie que podem influenciar a persistência de metapopulações em um ambiente alterado, como por exemplo, o tamanho populacional e a capacidade de dispersão. Pequenas populações são mais vulneráveis a extinção local devido à estocasticidade demográfica e ambiental (Hanski, 1999; Bennet & Saunders, 2009), enquanto espécies com menor capacidade de dispersão são mais suscetíveis a fragmentação (Wilson et al., 2016).

Além das questões intrínsecas a espécie, a persistência é influenciada pela estrutura da paisagem (Hanski, 1999), como por exemplo, quantidade e configuração de habitat (hipóteses já descritas anteriormente). Um estudo recente, feito com uma espécie de marsupial especialista (*Bettongia gaimardi*) na região de *Midlands* da Tasmânia, demonstrou que a persistência da espécie, em uma paisagem fragmentada, esta mais relacionada com a quantidade de habitat disponível do que com a configuração da paisagem (Gardiner et al., 2018). Por outro lado, questões relacionadas à configuração do habitat, como o tamanho e isolamento das manchas, se mostraram mais importantes em alguns trabalhos com dados simulados e empíricos (Smith & Hellmann, 2002; Mapelli et al., 2009; Kupfer et al., 2012). Embora muitos estudos já tenham sido feitos ainda há uma grande lacuna na compreensão de como a fragmentação influencia dinâmicas de metapopulações em nível de espécie (Wilson et al., 2016).

### 3.3.2 - *Extensão de Ocorrência*

A Extensão de Ocorrência (EOO) pode ser definida como a área contida dentro do limite imaginário contínuo mais curto que pode ser traçado para abranger todos os locais conhecidos, inferidos ou projetados de ocorrência presente de um táxon” (IUCN, 2012). A EOO é comumente utilizada para avaliação de status de conservação em dois dos critérios (A e B) de listas vermelhas de espécies ameaçadas de extinção (IUCN, 2019). Ela também pode ser analisada para quantificar padrões ecológicos regionais e até globais (Pimm et al., 2004). Quanto maior for a extensão de ocorrência de uma espécie, menor probabilidade de extinção ela terá. Bem como, menor pressão por estocasticidade ou por algum impacto direcional sobre a distribuição. Contudo, quando o objetivo é mapear a ocorrência em uma escala mais fina, a extensão de ocorrência pode ser superestimada, levando ao erro de comissão (falso positivo) (Rondini et al., 2006; Jetz et al., 2008; Di Marco et al., 2017).

### 3.3.3 - *Área de Habitat*

Uma forma de evitar essa superestimativa é mensurar a extensão de área de habitat disponível (AOH) para uma dada espécie (IUCN, 2017). Nessa abordagem, proposta recentemente por Brooks et al., 2019, os autores indicam que a AOH pode ser calculada a partir da exclusão de todas as classes de uso do solo e/ou altitudes dentro da EOO que não são consideradas adequadas para uma dada espécie. Além disso, eles também sugerem que a área de habitat pode ser útil no monitoramento de perda e fragmentação de habitat, na seleção de locais alvos de pesquisas de campo, e até mesmo, na avaliação de quanto resta de habitat dentro de áreas protegidas.

Assim, alguns estudos têm sido feitos com essa abordagem para diferentes fins como, por exemplo, a verificação de áreas prioritárias para conservação (Doria & Dobrovolski, 2020); avaliação de redução de habitat para diversos táxons (Duran et al., 2020); previsão de perda de distribuição com base em variáveis climáticas e uso do solo (Baisero et al., 2020) e mapeamento de área de habitat e desenvolvimento de modelos para validação (Lumbierres et al., 2021).

### 3.3.4 – *Distribuição potencial*

Além de avaliar porque as metapopulações persistem ao longo do tempo, onde elas se distribuem e a área de habitat disponível podemos prever áreas potencialmente adequadas. Essa predição é conhecida como modelagem de distribuição de espécies ou

modelagem de nicho ecológico. A avaliação de áreas potencialmente adequadas pode ser ainda mais importante quando a espécie tem uma distribuição restrita e é ameaçada de extinção (Guisan & Zimmermann, 2000; Guisan et al., 2013). Através dessa metodologia é possível prever os efeitos de variáveis climáticas (Zhao et al., 2019), avaliar a seleção do habitat (Fernández et al., 2016), compreender interações bióticas (Kubiak et al., 2017), mapear áreas potencialmente adequadas e como elas são prejudicadas pela fragmentação (de Barros et al., 2021), analisar a conectividade e quantidade de áreas potencialmente adequadas dentro de áreas protegidas (Tirelli et al., 2021), dentre outros.

Ademais, somando ao conhecimento dos registros históricos e presentes de ocorrência de uma espécie podemos compreender se houve declínio na distribuição potencial ao longo do tempo, denominada de hipótese de redução de nicho (Scheele et al., 2017). Ela é baseada na ideia de que o nicho realizado atual de uma espécie em declínio é reduzido do nicho realizado histórico, devido a ameaças antrópicas, fatores bióticos, variáveis ambientais, processos geográficos e evolutivos (McDonald et al., 2018). Dentro dessa perspectiva, alguns estudos têm demonstrado declínio na distribuição potencial de diversas espécies ameaçadas de extinção (Rutrough et al., 2019; Takach et al., 2020; Meijaard et al., 2021).

### **3.4 Local de estudo: Bioma Pampa**

A ecorregião da savana uruguaia (Olson et al., 2001), também denominada de *Pastilazes del Río de La Plata*, se distribui pelo Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai (Chomenko & Bencke, 2016). No Brasil, essa formação campestre é chamada de bioma Pampa e se distribui apenas na porção Sul Estado do Rio Grande do Sul, correspondendo a cerca de 2% do território brasileiro. É caracterizado pela presença, principalmente, de pastagens naturais, com formações rochosas e árvores e arbustos (Roesch et al., 2009). Ao longo da evolução do bioma, essas formações campestres naturais, foram mantidas pelo pastejo de grandes mamíferos herbívoros, representantes da megafauna. Hoje extintos, os campos têm sido mantidos por atividades humanas, como por exemplo, o fogo e a pecuária (Behling & Pillar, 2007). Apesar de avanços no Brasil em relação a conservação de biomas florestais, os biomas campestres têm sido negligenciados, recebendo uma proteção inadequada por políticas de conservação (Overback et al., 2007, Overback et al., 2015). Nesse sentido, apenas 3% do Pampa brasileiro possui algum nível de proteção legal e apenas 0,4% por Unidades de Conservação de proteção integral (Jenkins et al., 2015).

As áreas definidas legalmente como Unidades de Conservação também não estão imunes as pressões antrópicas. Ribeiro et al., (2021) avaliaram a área protegida de 13 UCs presentes no bioma, e evidenciaram que apenas seis delas apresentavam área de cobertura nativa acima de 90%. Além disso, segundo os dados da plataforma MapBiomas (Souza et al., 2020), entre os anos de 1985 e 2019, houve uma perda de 21% da vegetação nativa no bioma Pampa, restando apenas 45% de cobertura natural. As principais causas de conversão do uso do solo dos campos nativos são devido à silvicultura, pastagens exóticas, urbanização, e principalmente, agricultura. O decreto 52.431/2015 e a Lei Estadual 15.434/2020 do governo do Estado do Rio Grande do Sul ameaçam ainda mais esse bioma. Uma vez que, atribuem supressão da vegetação nativa em campo nativo consolidada nos locais com atividade pastoril, e restringe o que se considera como vegetação nativa.

### **3.5 Modelo de estudo**

#### *3.5.1 - Roedores subterrâneos: o gênero *Ctenomys**

Os roedores subterrâneos do gênero *Ctenomys*, são conhecidos popularmente como Tuco-tucos, e têm suas populações estruturadas em um clássico modelo de metapopulações (Mapelli et al., 2021). Atualmente, há cerca de 65 espécies descritas (Teta & D'Élia, 2020) e já foi visto que as características da paisagem têm um efeito importante na movimentação e estruturação genética desses animais (Mora et al., 2017). Eles são especialistas na utilização do habitat, onde ocupam apenas ambientes arenosos devido as suas atividades de escavação (Busch et al., 2000). Outros fatores também contribuem para vulnerabilidade frente as mudanças na paisagem, como baixa capacidade de dispersão, distribuição em pequenos demes, baixa diversidade genética, alta divergência genética entre subpopulações, até mesmo em pequenas escalas (Busch et al, 2000; Lacey et al., 2000; Jundi & Freitas, 2004; Mapelli et al., 2012; Freitas, 2016). Essas características intrínsecas, em conjunto com a estocasticidade demográfica e ambiental, que é maior em populações pequenas, pode levar a uma diminuição da capacidade de as populações persistirem ao longo do tempo (Mapelli et al., 2021). Assim, com base nessas características eles podem ser utilizados como modelo de estudo para avaliação das modificações antrópicas sobre padrões ecológicos

### 3.5.2 – Ecologia da paisagem e Tuco-tucos

Diversos estudos já foram feitos com o intuito de avaliar como a paisagem influencia padrões ecológicos e a estruturação genética desses animais. Mapelli & Kittlein (2009) encontraram que a ocupação do *Ctenomys porteousi*, espécie endêmica de uma pequena região na província centro-oeste de Buenos Aires na Argentina, é explicada pela cobertura vegetal das manchas, distância entre elas e pela qualidade da matriz ao redor dessas manchas. Eles também viram que apenas 10% da sua distribuição geográfica é considerada como potencialmente adequada de ser ocupada. Em outro estudo, conduzido com essa mesma espécie, foi visto que a configuração da paisagem em escala regional exerce forte influência sobre a estruturação genética, sugerindo que a fragmentação pode aumentar a diferenciação populacional (Mapelli et al., 2012). O mesmo foi visto para *Ctenomys "chasiquensis"* outra espécie considerada como vulnerável e endêmica da região central da Argentina (Mora et al., 2017).

Além disso, já foi visto que não só modificações atuais na paisagem, mas também, históricas e barreiras naturais podem influenciar a estruturação genética. *Ctenomys australis* é outra espécie endêmica e em perigo de extinção que habita dunas altamente fragmentadas da região sudeste da Argentina. Austrich et al., (2020) demonstraram que tanto barreiras naturais, formadas 1600 anos atrás, quanto a disponibilidade de habitat atual influencia a diferenciação populacional atual. Os autores ainda sugerem que uma perspectiva de estudo é avaliar diferentes configurações da paisagem em diferentes escalas para compreender melhor como essas mudanças influenciam esses animais. Um outro trabalho, também feito na Argentina com o complexo *perrensi* de espécies (*Ctenomys roigi*, *Ctenomys perrensi* e *Ctenomys dorbignyi*), viu que a altitude e alterações no uso do solo que ocorreram no passado (20-30 anos atrás) explicam mais a diferenciação populacional encontrada do que alterações atuais (Mapelli et al., 2020).

### 3.5.3 – Tuco-tucos do Rio Grande do Sul

No Brasil, o Estado do Rio Grande do Sul é o que possui a maior diversidade de espécies desse gênero, compreendendo cinco espécies descritas (Figura 1). A primeira delas é o *Ctenomys torquatus* Lichtenstein, 1830, que se distribui desde o sul do Rio Grande do Sul até a região central do Uruguai (Freitas, 1995; Fernandes et al., 2009). Essa espécie não é considerada ameaçada de extinção, porém, sua distribuição tem sobreposição com locais de queima e extração de carvão. O que já foi evidenciado que causa danos e quebras cromossômicas, danos ao DNA e encurtamento dos telômeros (da

Silva et al., 2000; Matzenbacher et al., 2020).

Em relação as demais espécies, quatro delas são consideradas como ameaçadas de extinção e três são endêmicas do Estado. *Ctenomys minutus* Nehring, 1887, se distribui desde São José do Norte, no Estado do Rio Grande do Sul, até a localidade de Laguna, no Estado de Santa Catarina (Freygang et al. 2004). Ele foi categorizado, recentemente, como ameaçado de extinção na categoria de Vulnerável (ICMBIO, 2018). *Ctenomys ibicuiensis* Freitas et al. (2012), espécie recentemente descrita e que apresenta uma distribuição restrita somente aos municípios de Manoel Viana e Maçambará (Freitas et al. 2012). Estudos recentes, sugerem que o status de conservação da espécie seja trocado de Dados Insuficientes para Em Perigo (Medeiros et al., 2020). *Ctenomys flamarioni* Travi, 1981, que se distribui na primeira linha de dunas do estado do Rio Grande do Sul (Freitas 1995), desde o Chuí até a praia de Arroio Teixeira (Freitas 1995) e é categorizado como Em Perigo segundo o ICMBio e a IUCN (ICMBIO, 2018; Freitas et al., 2019). E por fim, a espécie alvo desse estudo *Ctenomys lami* Freitas, 2001 que está categorizada como Vulnerável segundo a IUCN e o ICMBio (Bidau, 2018; ICMBIO, 2019).

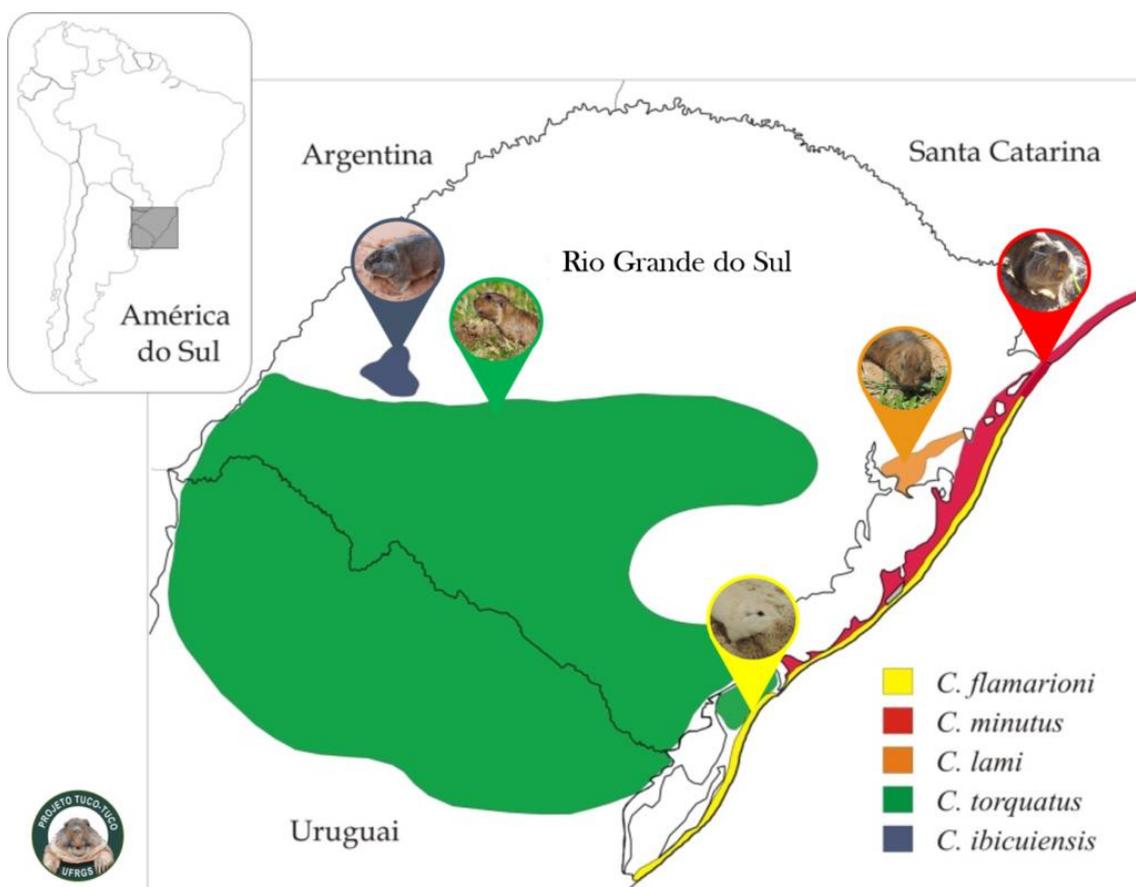


Figura 1: Distribuição geográfica das cinco espécies de Tuco-tucos presentes no Estado do Rio Grande do Sul

#### 3.5.4 - *Ctenomys lami* Freitas, 2001

Dentre inúmeras espécies ameaçadas de extinção que podem ser prejudicadas pelas mudanças antrópicas no bioma Pampa destaca-se o Tuco-tuco-do-lami (*C. lami*) (Figura 2). A espécie foi descrita recentemente (Freitas, 2001), até então, era considerada como parte de sua espécie irmã: *C. minutus*. Ela possui uma das menores distribuições conhecidas para o gênero, e é endêmica da porção mais antiga da Planície Costeira do Pampa. Uma pequena região arenosa denominada Coxilha das Lombas, de apenas 78 x 12 km (Freitas, 2001) que compreende a primeira barreira do pleistoceno (Tomazelli et al., 2000).



Figura 2: *Tuco-tuco-do-lami* em uma das Unidades de Conservação que habita: o Refúgio de Vida Silvestre Banhado dos Pachecos (Créditos: André Osório – Gestor da respectiva UC).

O limite sudoeste da sua distribuição abrange o Banhado dos Touros, e a noroeste o Banhado dos Pachecos (Freitas, 1995). A sua área de distribuição tem uma pequena sobreposição com três Unidades de Conservação, duas de proteção integral no bioma Pampa: Refúgio de Vida Silvestre Banhado dos Pachecos e a Reserva Biológica do Lami José Lutzenberger. E uma de uso sustentável, que abrange a porção sul da Mata Atlântica

e locais do bioma Pampa: Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande. Além disso, há pontos de ocorrência no Hospital Colônia de Itapuã, próximos ao Parque Estadual de Itapuã (Figura 3).

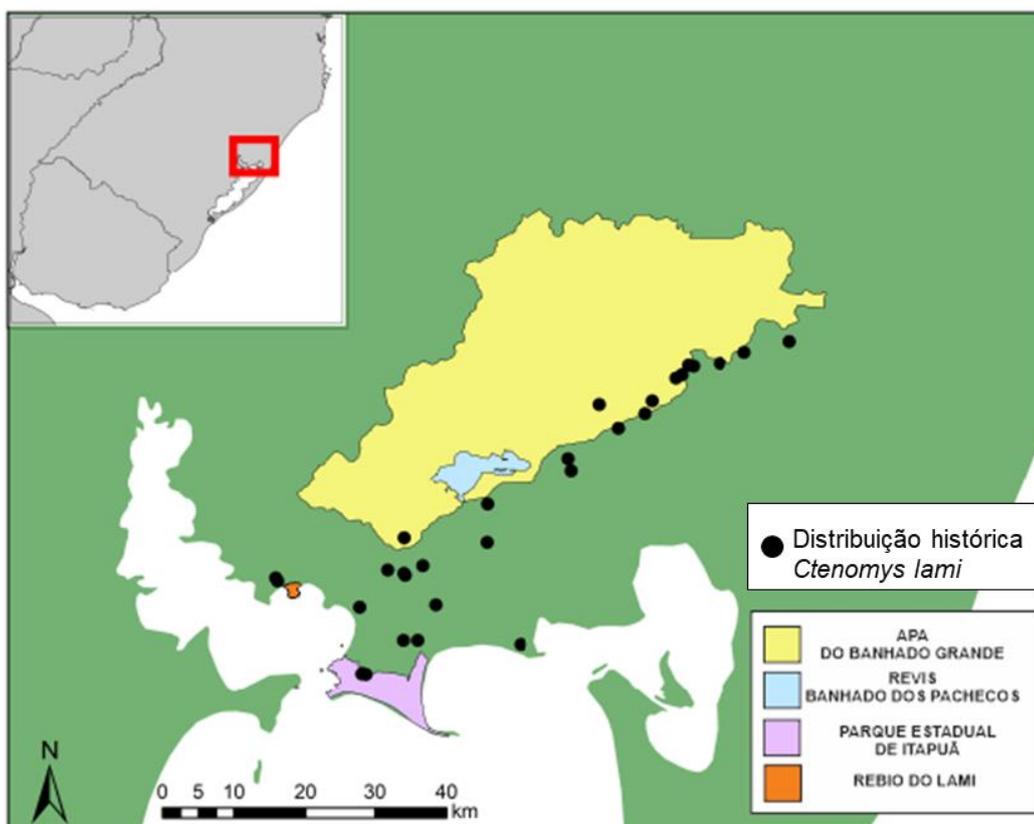


Figura 3: Mapa da distribuição histórica de *Ctenomys lami*, os círculos em preto são os locais de ocorrência histórica conhecida para a espécie (Lopes & Freitas, 2012; Galiano et al., 2014)

A espécie carece de estudos acerca de como a paisagem influencia seus padrões ecológicos ao longo do tempo. Gava & Freitas (2003) descreveram um processo de hibridação da espécie com *Ctenomys minutus*. Sugerindo que isso se deve a um contato secundário, causado por questões antrópicas, após a divergência por alopatria. Jundi & Freitas (2004) avaliaram a estruturação demográfica e genética de três subpopulações presentes no Hospital Colônia Itapuã, distantes 150-450m entre si. Os padrões genéticos

e demográficos analisados indicaram que a espécie possui baixa capacidade de dispersão e de fluxo gênico. O que contribui, segundo os autores, para um isolamento dessas subpopulações e para que o papel da deriva genética seja mais atuante. Freitas (2007) descreveu que a espécie está dividida em quatro blocos populacionais, relacionados a sua grande diversidade cariotípica (bloco A com  $2n = 54, 55a$  e  $56a$ ; bloco B com  $2n = 57$  e  $58$ ; bloco C com  $2n = 54$  e  $55a$ ; e bloco D com  $2n = 56b$  e  $55b$ ) e que ela está passando por um processo de especiação devido ao isolamento geográfico. Fernandes et al., (2007) descreveram as principais ameaças para a conservação da espécie como a crescente urbanização e a agricultura. Stein et al., (2010) avaliaram parâmetros hematológicos de populações do bloco A e B (impactadas por bovinocultura) e C (sem impacto). Eles encontraram uma série de alterações metabólicas nesses parâmetros, sugerindo assim, um maior estresse nessas populações presentes em áreas impactadas.

Lopes & Freitas (2012) viram que a espécie está subdividida em populações isoladas por barreiras antrópicas devido à expansão da urbanização e está limitada a uma área de ocorrência de aproximadamente  $600 \text{ km}^2$ . A espécie pode ser dividida em Unidades Evolutivamente Significativas (ESU) baseada na diferenciação genética e em uma Unidade de Manejo (UM). Além disso, eles sugeriram que o status de conservação da espécie deveria ser classificado como Vulnerável (VU). Galiano et al., (2014) viram que apesar de haver diferenças na diversidade genética da espécie ao longo da sua distribuição a sua distribuição potencial se manteve a mesma, restrita a Coxilha das Lombas e com alguns locais potencialmente adequados além dos limites da região. Caraballo et al., (2020) indica que área de distribuição da espécie é de  $1348 \text{ km}^2$  e que a maior parte da distribuição não tem sobreposição com áreas protegidas.

Atualmente, a espécie é categorizada como Vulnerável, segundo a IUCN, com a seguinte observação “Não há informações disponíveis sobre quaisquer medidas de conservação que estão sendo feitas para proteger esta espécie. Mais pesquisas são necessárias para esclarecer o verdadeiro status desta espécie” (Bidau, 2018). Segundo o ICMBIO (2018), *Ctenomys lami* foi enquadrado como Em Perigo, aumentando seu grau de ameaça, segundo os critérios B1 ab(ii,iii) da IUCN que estimam redução das populações por extensão de ocorrência. Nos últimos anos, em expedições de campo, percebeu-se que subpopulações históricas haviam desaparecido (comunicação pessoal, Thales R. O. de Freitas). Devido a isso, acredita-se que a espécie esteja passando por um período de declínio em sua distribuição, porém, não há estudos que tenham avaliado essas hipóteses e possíveis causas.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 - Objetivo geral:

Avaliar os padrões ecológicos de persistência, extensão de ocorrência e distribuição potencial ao longo do tempo de uma espécie de roedor subterrâneo endêmica do bioma Pampa e ameaçada de extinção (*Ctenomys lami*).

### 4.2 – Objetivos específicos:

4.2.1 – Analisar como a persistência é afetada pela composição e configuração do habitat em diferentes escalas;

4.2.2 – Verificar se houve redução na Extensão de Ocorrência (EOO) ao longo do tempo e quanto de Área de Habitat (AOH) ainda resta nessa distribuição;

4.2.3 – Compreender se houve redução na distribuição potencial ao longo do tempo e como as variáveis abióticas e o uso do solo influenciam essa distribuição.

## 5 HIPÓTESES

- Objetivo específico 4.2.1:

H1: A persistência será predita pela quantidade de habitat em uma menor escala devido a hipótese de quantidade de habitat e o efeito de escala

P1.1: A quantidade de habitat terá um efeito positivo sobre a persistência

P1.2: Quanto mais fina a escala for, maior é o efeito da quantidade de habitat sobre a persistência.

H2: A persistência será predita pela configuração do habitat em uma menor escala devido a hipótese de configuração de habitat e o efeito de escala

P2.1: A configuração do habitat terá um efeito negativo sobre a persistência

P2.2: Quanto mais fina a escala for, maior é o efeito da configuração de habitat sobre a persistência.

## Referências:

- Austrich, A., Mora, M. S., Mapelli, F. J., Fameli, A., & Kittlein, M. J. (2020). Influences of landscape characteristics and historical barriers on the population genetic structure in the endangered sand-dune subterranean rodent *Ctenomys australis*. *Genetica*, *148*, 149-164.
- Baisero, D., Visconti, P., Pacifici, M., Cimatti, M., & Rondinini, C. (2020). Projected Global Loss of Mammal Habitat Due to Land-Use and Climate Change. *One Earth*, *2*(6), 578-585.
- Baisero, D., Visconti, P., Pacifici, M., Cimatti, M., & Rondinini, C. (2020). Projected Global Loss of Mammal Habitat Due to Land-Use and Climate Change. *One Earth*, *2*(6), 578-585.
- Banks, P. B., Carthey, A. J., & Bytheway, J. P. (2018). Australian native mammals recognize and respond to alien predators: a meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B*, *285*(1885), 20180857.
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O., Swartz, B., Quental, T. B., & Mersey, B. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?. *Nature*, *471*(7336), 51.
- Benítez-López, A., Alkemade, R., Schipper, A. M., Ingram, D. J., Verweij, P. A., Eikelboom, J. A. J., & Huijbregts, M. A. J. (2017). The impact of hunting on tropical mammal and bird populations. *Science*, *356*(6334), 180-183.
- Bidau, C. J., (2018). *Ctenomys lami*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T136567A22196245. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-1.RLTS.T136567A22196245.en>. Download em 02 julho de 2021.
- Brennan, J. M. (2002). Focal-patch studies for wildlife management: optimizing sampling effort across scales. *Integrating landscape ecology into natural resource management*.
- Brodie, J. F., Williams, S., & Garner, B. (2021). The decline of mammal functional and evolutionary diversity worldwide. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(3).
- Brooks, T. M., Pimm, S. L., Akçakaya, H. R., Buchanan, G. M., Butchart, S. H., Foden, W., ... & Rondinini, C. (2019). Measuring terrestrial area of habitat (AOH) and its utility for the IUCN Red List. *Trends in ecology & evolution*, *34*(11), 977-986.
- Bueno, A. S., & Peres, C. A. (2019). Patch-scale biodiversity retention in fragmented landscapes: Reconciling the habitat amount hypothesis with the island biogeography theory. *Journal of Biogeography*, *46*(3), 621-632.
- Busch, C., Antinuchi, C. D., del Valle, J. C., Kittlein, M., Malizia, A. I., Vassallo, A. I., & Zenuto, R. R. (2000). Population ecology of subterranean rodents. Life underground: the biology of subterranean rodents, 183-226.
- Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II – Mamíferos / 1. ed. -- Brasília, DF : ICMBio/MMA, 2018.7 v. : il.

Caraballo, D. A., López, S. L., Carmarán, A. A., & Rossi, M. S. (2020). Conservation status, protected area coverage of *Ctenomys* (Rodentia, Ctenomyidae) species and molecular identification of a population in a national park. *Mammalian Biology*, *100*(1), 33-47.

Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M., & Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science advances*, *1*(5), e1400253.

Chase, J. M., Blowes, S. A., Knight, T. M., Gerstner, K., & May, F. (2020). Ecosystem decay exacerbates biodiversity loss with habitat loss. *Nature*, *584*(7820), 238-243.

Chomenko, L., & Bencke, G. A. (2016). Nosso Pampa desconhecido. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.

Committee. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf>.

Cushman, S. A., & McGarigal, K. (2004). Patterns in the species–environment relationship depend on both scale and choice of response variables. *Oikos*, *105*(1), 117-124.

da Silva, J., de Freitas, T. R., Heuser, V., Marinho, J. R., & Erdtmann, B. (2000). Genotoxicity biomonitoring in coal regions using wild rodent *Ctenomys torquatus* by comet assay and micronucleus test. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, *35*(4), 270-278.

de Barros, K. M. P. M., de Oliveira, B. G., Attias, N., & Desbiez, A. L. J. (2021). Species distribution model reveals only highly fragmented suitable patches remaining for giant armadillo in the Brazilian Cerrado. *Perspectives in Ecology and Conservation*, *19*(1), 43-52.

Di Marco, M., Watson, J. E., Possingham, H. P., & Venter, O. (2017). Limitations and trade-offs in the use of species distribution maps for protected area planning. *Journal of Applied Ecology*, *54*(2), 402-411.

Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneth, A., ... & Zayas, C. N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, *366*(6471).

Doria, T. A. F., & Dobrovolski, R. (2021). Improving post-2020 conservation of terrestrial vertebrates in Caatinga. *Biological Conservation*, *253*, 108894.

Durán, A. P., Green, J. M., West, C. D., Visconti, P., Burgess, N. D., Virah-Sawmy, M., & Balmford, A. (2020). A practical approach to measuring the biodiversity impacts of land conversion. *Methods in Ecology and Evolution*, *11*(8), 910-921.

Eldredge, N. (2001). The sixth extinction. *An ActionBioscience. org original article. American Institute of Biological Sciences.*

Evju, M., & Sverdrup-Thygeson, A. (2016). Spatial configuration matters: a test of the habitat amount hypothesis for plants in calcareous grasslands. *Landscape Ecology*, *31*(9), 1891-1902.

Fahrig, L. (2013). Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. *Journal of Biogeography*, *40*(9), 1649-1663.

- Fahrig, L. (2017). Ecological responses to habitat fragmentation per se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48, 1-23.
- Fahrig, L., Arroyo-Rodríguez, V., Bennett, J. R., Boucher-Lalonde, V., Cazetta, E., Currie, D. J., ... & Watling, J. I. (2019). Is habitat fragmentation bad for biodiversity?. *Biological Conservation*, 230, 179-186.
- Falcy, M. R., & Estades, C. F. (2007). Effectiveness of corridors relative to enlargement of habitat patches. *Conservation Biology*, 21(5), 1341-1346.
- Faurby, S., & Svenning, J. C. (2015). Historic and prehistoric human-driven extinctions have reshaped global mammal diversity patterns. *Diversity and Distributions*, 21(10), 1155-1166.
- Fernandes, F. A., Fernández-Stolz, G. P., Lopes, C. M., & Freitas, T. R. O. D. (2007). The conservation status of the tuco-tucos, genus *Ctenomys* (Rodentia: Ctenomyidae), in southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 67, 839-847.
- Fernandes, F. A., Fornel, R., Cordeiro-Estrela, P., & Freitas, T. R. O. (2009). Intra- and interspecific skull variation in two sister species of the subterranean rodent genus *Ctenomys* (Rodentia, Ctenomyidae): coupling geometric morphometrics and chromosomal polymorphism. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 155(1), 220-237.
- Fernández, M. J. G., Boston, E. S., Gaggiotti, O. E., Kittlein, M. J., & Mirol, P. M. (2016). Influence of environmental heterogeneity on the distribution and persistence of a subterranean rodent in a highly unstable landscape. *Genetica*, 144(6), 711-722.
- Fletcher Jr, R. J., Didham, R. K., Banks-Leite, C., Barlow, J., Ewers, R. M., Rosindell, J., ... & Haddad, N. M. (2018). Is habitat fragmentation good for biodiversity?. *Biological conservation*, 226, 9-15.
- Freitas, T. D. (1995). Geographic distribution and conservation of four species of the genus *Ctenomys* in southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 30(1), 53-59.
- Freitas, T. D. (1995). Geographic distribution and conservation of four species of the genus *Ctenomys* in southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 30(1), 53-59.
- Freitas, T. R. O. (2001). Tuco-tucos (Rodentia, Octodontidae) in southern Brazil: *Ctenomys lami* spec. nov. separated from *C. minutus* Nehring 1887. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 36(1), 1-8.
- Freitas, T. R. O. (2007). *Ctenomys lami*: The highest chromosome variability in *Ctenomys* (Rodentia, Ctenomyidae) due to a centric fusion/fission and pericentric inversion system. *Acta Theriologica*, 52(2), 171-180.
- Freitas, T. R. O. (2016). Family Ctenomyidae (Tuco-tucos). Lagomorphs and Rodents I. (DE Wilson, TE Lacher & RA Mittermeier, eds.).
- Freitas, T., Weksler, M., Catzeflis, F. & Percequillo, A. (2019) *Ctenomys flamarioni*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T136464A22196926. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T136464A22196926.en>. consultado em 9 de agosto de 2021.

- Galiano, D., Bernardo-Silva, J., & Freitas, T. R. D. (2014). Genetic pool information reflects highly suitable areas: the case of two parapatric endangered species of tuco-tucos (Rodentia: Ctenomyidae). *PLoS one*, *9*(5), e97301.
- Gardiner, R., Bain, G., Hamer, R., Jones, M. E., & Johnson, C. N. (2018). Habitat amount and quality, not patch size, determine persistence of a woodland-dependent mammal in an agricultural landscape. *Landscape Ecology*, *33*(11), 1837-1849.
- Gava, A., & Freitas, T. R. (2003). Inter and intra-specific hybridization in tuco-tucos (Ctenomys) from Brazilian coastal plains (Rodentia: Ctenomyidae). *Genetica*, *119*(1), 11-17.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, *135*(2-3), 147-186.
- Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. I., ... & Martin, T. G. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology letters*, *16*(12), 1424-1435.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Cook, W. M. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances*, *1*(2), e1500052.
- Haddad, N. M., Gonzalez, A., Brudvig, L. A., Burt, M. A., Levey, D. J., & Damschen, E. I. (2017). Experimental evidence does not support the Habitat Amount Hypothesis. *Ecography*, *40*(1), 48-55.
- Hanski, I. (1999). *Metapopulation ecology*. Oxford University Press.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2018) Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. 1ª ed. Brasília (DF): ICMBio/MMA. Volume II – Mamíferos
- IUCN (2012) Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN disponível em: <https://www.iucnredlist.org/resources/categories-and-criteria>
- IUCN (2017) Guidelines for Using The IUCN Red List Categories and Criteria. version 13. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee. *RedListGuidelines*.
- IUCN Standards and Petitions Committee (2019) Guidelines for Using the IUCN
- Jackson, H. B., & Fahrig, L. (2012). What size is a biologically relevant landscape?. *Landscape ecology*, *27*(7), 929-941.
- Jackson, H. B., & Fahrig, L. (2015). Are ecologists conducting research at the optimal scale?
- Jenkins, C. N., Alves, M. A. S., Uezu, A., & Vale, M. M. (2015). Patterns of vertebrate diversity and protection in Brazil. *PloS one*, *10*(12), e0145064.
- Jetz, W., Sekercioglu, C. H., & Watson, J. E. (2008). Ecological correlates and conservation implications of overestimating species geographic ranges. *Conservation Biology*, *22*(1), 110-119.

- Jundi, T. A. E., & De Freitas, T. R. (2004). Genetic and demographic structure in a population of *Ctenomys lami* (Rodentia-Ctenomyidae). *Hereditas*, *140*(1), 18-23.
- Kubiak, B. B., Gutiérrez, E. E., Galiano, D., Maestri, R., & de Freitas, T. R. (2017). Can Niche Modeling and Geometric Morphometrics Document Competitive Exclusion in a Pair of Subterranean Rodents (Genus *Ctenomys*) with Tiny Parapatric Distributions?. *Scientific reports*, *7*(1), 16283.
- Kupfer, J. A. (2012). Landscape ecology and biogeography: rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. *Progress in physical geography*, *36*(3), 400-420.
- Lacey, E. A., Patton, J. L., & Cameron, G. N. (2000). Spatial and social systems of subterranean rodents. *Life underground: the biology of subterranean rodents* (EA Lacey, JL Patton, and GN Cameron, eds.). University of Chicago Press, Chicago, Illinois, 257-296.
- Levins, R. (1969). Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *American Entomologist*, *15*(3), 237-240.
- Levins, R. (1970). Extinction. Some mathematical questions in biology.
- Lindenmayer, D. B., Blanchard, W., Foster, C. N., Scheele, B. C., Westgate, M. J., Stein, J., ... & Florance, D. (2020). Habitat amount versus connectivity: An empirical study of bird responses. *Biological Conservation*, *241*, 108377.
- Lopes, C. M., & de Freitas, T. R. (2012). Human impact in naturally patched small populations: genetic structure and conservation of the burrowing rodent, tuco-tuco (*Ctenomys lami*). *Journal of Heredity*, *103*(5), 672-681.
- Lumbierres, M., Dahal, P. R., Di Marco, M., Butchart, S. H., Donald, P. F., & Rondinini, C. (2021). A habitat class to land cover translation model for mapping Area of Habitat of terrestrial vertebrates. *bioRxiv*.
- MacArthur, R. H., & Wilson, E. O. (1963). An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution*, 373-387.
- Mapelli, F. J., & Kittlein, M. J. (2009). Influence of patch and landscape characteristics on the distribution of the subterranean rodent *Ctenomys porteousi*. *Landscape Ecology*, *24*(6), 723-733.
- Mapelli, F. J., Austrich, A., Kittlein, M. J., & Mora, M. S. (2021). Phylogeography and Landscape Genetics in the Subterranean Rodents of the Genus *Ctenomys*. Tuco-Tucos: An Evolutionary Approach to the Diversity of a Neotropical Subterranean Rodent, 83-109.
- Mapelli, F. J., Boston, E. S., Fameli, A., Fernández, M. J. G., Kittlein, M. J., & Mirol, P. M. (2020). Fragmenting fragments: landscape genetics of a subterranean rodent (Mammalia, Ctenomyidae) living in a human-impacted wetland. *Landscape Ecology*, *35*(5), 1089-1106.
- Mapelli, F. J., Mora, M. S., Mirol, P. M., & Kittlein, M. J. (2012). Population structure and landscape genetics in the endangered subterranean rodent *Ctenomys porteousi*. *Conservation Genetics*, *13*(1), 165-181.

- Matzenbacher, C. A., Da Silva, J., Garcia, A. L. H., Cappetta, M., & de Freitas, T. R. (2019). Anthropogenic effects on natural mammalian populations: correlation between telomere length and coal exposure. *Scientific reports*, *9*(1), 1-9.
- McCallum, M. L. (2015). Vertebrate biodiversity losses point to a sixth mass extinction. *Biodiversity and Conservation*, *24*(10), 2497-2519.
- McDonald, P. J., Stewart, A., & Dickman, C. R. (2018). Applying the niche reduction hypothesis to modelling distributions: a case study of a critically endangered rodent. *Biological Conservation*, *217*, 207-212.
- McGarigal, K., Wan, H. Y., Zeller, K. A., Timm, B. C., & Cushman, S. A. (2016). Multi-scale habitat selection modeling: a review and outlook. *Landscape ecology*, *31*(6), 1161-1175.
- Medeiros, M. D., Galiano, D., Kubiak, B. B., Roratto, P. A., & de Freitas, T. R. O. (2020). Genetic diversity and conservation of the endemic tuco-tuco *Ctenomys ibicuiensis* (Rodentia: Ctenomyidae). *Journal of Mammalogy*, *101*(6), 1578-1586.
- Meijaard, E., Ni'matullah, S., Dennis, R., Sherman, J., & Wich, S. A. (2021). The historical range and drivers of decline of the Tapanuli orangutan. *PloS one*, *16*(1), e0238087.
- Miguet, P., Jackson, H. B., Jackson, N. D., Martin, A. E., & Fahrig, L. (2016). What determines the spatial extent of landscape effects on species?. *Landscape ecology*, *31*(6), 1177-1194.
- Moll, R. J., Cepek, J. D., Lorch, P. D., Dennis, P. M., Robison, T., & Montgomery, R. A. (2020). At what spatial scale (s) do mammals respond to urbanization?. *Ecography*, *43*(2), 171-183.
- Mora, M. S., Mapelli, F. J., López, A., Fernández, M. J. G., Mirol, P. M., & Kittlein, M. J. (2017). Landscape genetics in the subterranean rodent *Ctenomys* "chasiquensis" associated with highly disturbed habitats from the southeastern Pampas region, Argentina. *Genetica*, *145*(6), 575-591.
- Moraga, A. D., Martin, A. E., & Fahrig, L. (2019). The scale of effect of landscape context varies with the species' response variable measured. *Landscape Ecology*, *34*(4), 703-715.
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V., Underwood, E. C., ... & Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, *51*(11), 933-938.
- Overbeck, G. E., Müller, S. C., Fidelis, A., Pfadenhauer, J., Pillar, V. D., Blanco, C. C., ... & Forneck, E. D. (2007). Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, *9*(2), 101-116.
- Overbeck, G. E., Vélez-Martin, E., Scarano, F. R., Lewinsohn, T. M., Fonseca, C. R., Meyer, S. T., ... & Pillar, V. D. (2015). Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Diversity and distributions*, *21*(12), 1455-1460.
- Palmeirim, A. F., Figueiredo, M. S., Grelle, C. E. V., Carbone, C., & Vieira, M. V. (2019). When does habitat fragmentation matter? A biome-wide analysis of small mammals in the Atlantic Forest. *Journal of Biogeography*, *46*(12), 2811-2825.

- Pimm, S. L., Jenkins, C. N., Abell, R., Brooks, T. M., Gittleman, J. L., Joppa, L. N., ... & Sexton, J. O. (2014). The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, *344*(6187).
- Powers, R. P., & Jetz, W. (2019). Global habitat loss and extinction risk of terrestrial vertebrates under future land-use-change scenarios. *Nature Climate Change*, *9*(4), 323-329.
- Behling, H., & Pillar, V. D. (2007). Late Quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*(1478), 243-251.
- Quesnelle, P. E., Fahrig, L., & Lindsay, K. E. (2013). Effects of habitat loss, habitat configuration and matrix composition on declining wetland species. *Biological Conservation*, *160*, 200-208.
- Ribeiro, S., Moreira, L. F., Overbeck, G. E., & Maltchik, L. (2021). Protected Areas of the Pampa biome presented land use incompatible with conservation purposes. *Journal of Land Use Science*, 1-13.
- Rios, E., Benchimol, M., Dodonov, P., De Vleeschouwer, K., & Cazetta, E. (2021). Testing the habitat amount hypothesis and fragmentation effects for medium-and large-sized mammals in a biodiversity hotspot. *Landscape Ecology*, *36*(5), 1311-1323.
- Roesch, L. F. W., Vieira, F. C. B., Pereira, V. A., Schünemann, A. L., Teixeira, I. F., Senna, A. J. T., & Stefenon, V. M. (2009). The Brazilian Pampa: a fragile biome. *Diversity*, *1*(2), 182-198.
- Rondinini, C., Wilson, K. A., Boitani, L., Grantham, H., & Possingham, H. P. (2006). Tradeoffs of different types of species occurrence data for use in systematic conservation planning. *Ecology letters*, *9*(10), 1136-1145.
- Rutrough, A., Widick, I. V., & Bean, W. T. (2019). Reconstruction of the historical range alters niche estimates in an endangered rodent. *Ecography*, *42*(10), 1742-1751.
- Scheele, B. C., Foster, C. N., Banks, S. C., & Lindenmayer, D. B. (2017). Niche contractions in declining species: mechanisms and consequences. *Trends in Ecology & Evolution*, *32*(5), 346-355.
- Smith, J. N., & Hellmann, J. J. (2002). Population persistence in fragmented landscapes. *Trends in Ecology & Evolution*, *17*(9), 397-399.
- Souza, C. M., Z Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A Alencar, A., Rudorff, B. F., ... & Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, *12*(17), 2735.
- Standards and Petitions Working Group. (2006) Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 6.2.
- Stein, G. G., Lacerda, L. A., Hlavac, N., Stolz, J. F., Stein, I. V., Freitas, T. R., & Carissimi, A. S. (2010). Parâmetros hematológicos do roedor fossorial *Ctenomys lami* (Rodentia, Ctenomidae) no estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, *30*(8), 670-675.

- Teta, P., & D'Elía, G. (2020). Uncovering the species diversity of subterranean rodents at the end of the World: three new species of Patagonian tuco-tucos (Rodentia, Hystricomorpha, Ctenomys). *PeerJ*, 8, e9259.
- Tirelli, F. P., Trigo, T. C., Queirolo, D., Kasper, C. B., Bou, N., Peters, F., ... & Eizirik, E. (2021). High extinction risk and limited habitat connectivity of Muñoa's pampas cat, an endemic felid of the Uruguayan Savanna ecoregion. *Journal for Nature Conservation*, 62, 126009.
- Tomazelli, L. J., Dillenburg, S. R., & Villwock, J. A. (2000). Late Quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 30(3), 474-476.
- Torrenta, R., & Villard, M. A. (2017). A test of the habitat amount hypothesis as an explanation for the species richness of forest bird assemblages. *Journal of Biogeography*, 44(8), 1791-1801.
- Takach, B., Scheele, B. C., Moore, H., Murphy, B. P., & Banks, S. C. (2020). Patterns of niche contraction identify vital refuge areas for declining mammals. *Diversity and Distributions*, 26(11), 1467-1482.
- Watling, J. I., Arroyo-Rodríguez, V., Pfeifer, M., Baeten, L., Banks-Leite, C., Cisneros, L. M., ... & Fahrig, L. (2020). Support for the habitat amount hypothesis from a global synthesis of species density studies. *Ecology letters*, 23(4), 674-681.
- Wilson, M. C., Chen, X. Y., Corlett, R. T., Didham, R. K., Ding, P., Holt, R. D., ... & Yu, M. (2016). Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges.
- Zhao, X., Ren, B., Li, D., Garber, P. A., Zhu, P., Xiang, Z., ... & Li, M. (2019). Climate change, grazing, and collecting accelerate habitat contraction in an endangered primate. *Biological Conservation*, 231, 88-97.

## 7 CONCLUSÕES GERAIS

O presente trabalho foi o primeiro a avaliar como a paisagem influencia a persistência de subpopulações de um roedor do gênero *Ctenomys* no Brasil. Além disso, foi o primeiro a fornecer uma avaliação de padrões ecológicos importantes no contexto de espécies ameaçadas de extinção ao longo do tempo, bem como, processos associados. A maioria das subpopulações não persistiu ao longo do tempo nos mesmos locais, bem como, a maior parte do seu habitat natural foi alterado. Segundo as hipóteses que testamos essa baixa persistência foi relacionado a configuração do habitat em uma fina escala. A extensão de ocorrência, apesar de ter reduzido pouco e nas bordas de distribuição, pode ter um efeito considerável a longo prazo, pois a espécie possui uma das menores distribuições do gênero, é endêmica e ameaçada de extinção. A dinâmica de perda de área de habitat dentro da EOO não possui uma tendência de redução ao longo do tempo, mas alternando em ciclos de perda e ganho com redução maior nos últimos anos. A distribuição potencial da espécie pode ser compreendida como superestimada quando só variáveis abióticas são consideradas. Assim, recomenda-se que o uso do solo seja considerado em futuros trabalhos.

Uma série de ações práticas foram feitas através do desenvolvimento desse trabalho, que vão desde recomendações a Unidades de Conservação, participações em planos de manejo, atualização da plataforma SALVE-ICMBio para o PAN de roedores e lagomorfos e ações de divulgação científica. Por fim, essa dissertação também apontou algumas limitações trazendo perspectivas de trabalhos futuros, como avaliação temporal da dinâmica de ocupação e densidade populacional, que incorporem a detecção imperfeita, e análise temporal da paisagem e diversidade genética atual.





UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
UFRGS

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

---

## DECLARAÇÃO

Declaro, para os devidos fins, que a dissertação de mestrado intitulada “PASSADO E PRESENTE: Persistência, extensão de ocorrência e distribuição potencial de uma espécie de roedor subterrâneo endêmica do bioma pampa e ameaçada de extinção *Ctenomys lami* (Rodentia: Ctenomyidae)”, de autoria da aluna **THAMARA SANTOS DE ALMEIDA**, do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal/UFRGS, sob minha orientação, não está enquadrada na Resolução nº 040/2021. Informo, outrossim, que no desenvolvimento da pesquisa não ocorreram coleta de material biológico e/ou captura e marcações de animais.

Porto Alegre, 31 de março de 2023.

Thales Renato Ochotorena de Freitas  
Orientador

Visto:

Thamara Santos de Almeida