

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

Julia Veiga Pereira

**Influência das variáveis abióticas na atividade de serpentes em uma área de dunas
no sul do Brasil**

PORTO ALEGRE

2023

JULIA VEIGA PEREIRA

Influência das variáveis abióticas na atividade de serpentes em uma área de dunas no sul do Brasil

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 (a): Prof. Dr. Márcio Borges-Martins

PORTO ALEGRE

2023

AGRADECIMENTOS

Fazer uma dissertação em meio à pandemia não foi fácil. Agradeço primeiramente por estar viva, com saúde e vacinada, ao contrário de tantas pessoas que não tiveram a mesma chance. Agradeço à ciência, aos pesquisadores e todos profissionais que se empenharam tanto em reduzir as mortes causadas pelo vírus.

Agradeço à minha família que sempre esteve comigo, mesmo distante, me apoiando e me dando o conforto que precisei em tantos momentos.

Agradeço ao meu parceiro de vida pelo amor, companheirismo, infinitas ajudas para refletir sobre minha pesquisa, apoio e por tudo que passamos durante esses anos.

Agradeço aos meus amigos e colegas de apartamento pelas risadas e por sempre aquecerem meu coração.

Agradeço ao meu orientador Márcio pela oportunidade, paciência, compreensão e ajuda.

Agradeço ao Roberto Baptista de Oliveira pela disponibilidade de dados tão incríveis.

Agradeço ao Murilo Guimarães pela ajuda e ideias.

Agradeço à Taiane pelas ajudas e conselhos.

Agradeço à Natália Berchieri pela ajuda, por todas conversas e apoio online neste mestrado “EAD”.

Agradeço ao PPG e à CAPES pela oportunidade e bolsa concedida.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO GERAL	8
Objetivo Geral	13
Hipóteses	13
REFERÊNCIAS	14
Influência de variáveis abióticas na atividade de serpentes em uma área de dunas costeiras no sul do Brasil	18
Introdução	20
Materiais e Métodos	22
Área de estudo	22
Coleta de dados	24
Análise dos dados	25
Resultados	27
REFERÊNCIAS	34
CONCLUSÃO GERAL	38

RESUMO

As serpentes de regiões de clima subtropical costumam ser menos ativas em períodos mais frios. A pluviosidade tende a não ser uma variável significativa para influenciar na atividade de serpentes nessas regiões. No entanto, existem poucos dados sobre atividade de comunidades de serpentes em áreas de clima subtropical no Neotrópico, bem como poucos trabalhos avaliaram essas relações em escalas maiores de tempo. Nesse estudo utilizamos dados de um trabalho prévio sobre a história natural de uma comunidade de serpentes de uma região de dunas, para investigar como a temperatura e a pluviosidade estariam influenciando na atividade destes organismos. O estudo foi realizado entre 1998 e 2004 em uma área de dunas no sul do Brasil, na praia de Magistério, Balneário Pinhal, Rio Grande do Sul. A contagem de espécimes foi utilizada como medida para avaliar a atividade. As variáveis ambientais, temperatura média mínima, pluviosidade da estação e pluviosidade da estação anterior foram selecionadas como variáveis possivelmente preditoras da atividade. As análises foram feitas através de Modelos Lineares Generalizados com distribuição binomial negativa. A temperatura média mínima, a pluviosidade da estação e a interação entre a pluviosidade da estação anterior e a temperatura mínima demonstraram influenciar significativamente na atividade de serpentes. Esses resultados demonstraram relações inesperadas e permitiram discutir as relações entre pluviosidade e temperatura nas dunas e suas conseqüentes relações com a diversificação de microhabitats e aumento de áreas alagadas, o que poderia estar facilitando na movimentação e forrageamento das serpentes da área.

ABSTRACT

Snakes from regions with a subtropical climate tend to be less active in colder periods. Rainfall tends not to be a significant variable to influence snake activity in these regions. However, there are few data on the activity of snake communities in subtropical areas in the Neotropics, as well as few works have evaluated these relationships on larger time scales. In this study, we used data from a previous study on the natural history of a snake community in a dune region, to investigate how temperature and rainfall would be influencing the activity of these organisms. The study was carried out between 1998 and 2004 in an area of dunes in southern Brazil, on Magistério beach, Balneário Pinhal, Rio Grande do Sul. Specimen count was used as a measure to assess activity. The environmental variables, minimum average temperature, rainfall in the season and rainfall in the previous season were selected as variables that could possibly predict the activity. Analyzes were performed using Generalized Linear Models with negative binomial distribution. Minimum temperature, seasonal rainfall and the interaction between previous season rainfall and minimum average temperature have been shown to significantly influence snake activity. These results showed unexpected relationships and allowed us to discuss the relationships between rainfall and temperature in the dunes and their consequent relationships with the diversification of microhabitats and the increase in flooded areas, which could be facilitating the movement and foraging of snakes in the area.



Xenodon dorbignyi

Nariguda

Uma das serpentes mais abundantes nas dunas de Balneário Pinhal

Rio Grande do Sul

Sul do Brasil

Foto: Márcio Borges Martins

INTRODUÇÃO GERAL

As áreas litorâneas brasileiras possuem complexos ecossistemas. Um destes é o ambiente de dunas (Figura 1), o qual de maneira geral caracteriza-se pelo acúmulo de sedimentos transportados por via eólica ao longo do tempo (Martínez et al., 2008). A morfologia dos campos de dunas no Brasil varia de acordo com a topografia da região, o regime de ventos, a vegetação e a evolução geológica da área (Villwock et al., 2005). As dunas são essenciais para o acúmulo de águas que formam aquíferos, para o controle de erosão costeira e para fauna e flora presentes nestes ambientes (Figura 2) (Martínez et al., 2008; Pinheiro et al., 2013). No entanto, são ambientes que estão sendo destruídos e ameaçados em todo Brasil. De acordo com MapBiomas (2021) cerca de 15% de praias e dunas foram destruídas no país nos últimos 35 anos, e que atualmente o Maranhão e o Rio Grande do Sul (RS) são os estados brasileiros com maior cobertura de dunas e areais, ressaltando a importância em conservar estes ambientes. A conservação das praias e dunas é essencial para preservação da faixa litorânea e sua biodiversidade.



Fig. 1. Dunas eólicas no Parque Estadual de Itapeva, Torres, RS. Foto: Márcio Borges Martins



Fig. 2. Dunas associadas à floresta de restinga e lagoas, no Parque Estadual de Itapeva, Torres, RS. Foto: Márcio Borges Martins

Os campos de dunas eólicas presentes no RS estão situados em uma região de clima subtropical, onde existe uma grande variação ambiental (Climate-data.org, 2023). Esse clima se caracteriza por invernos frios, verões muito quentes e chuvas geralmente uniformes ao longo do ano (Hasenack & Ferraro, 1989; Climate-data.org, 2023). As dunas se estendem por quase toda costa do estado, possuem áreas vegetadas e não vegetadas e um forte regime de ventos que as faz avançar para dentro de corpos lagunares adjacentes, formar poças temporárias e “sangradouros” (Figura 3), que são cursos d’água de pequena escala que desempenham papel fundamental na drenagem da zona costeira (Tomazelli, 1993; Tomazelli et al., 2003; Calliari et al., 2005; Carvalho et al., 2008). Tal complexidade de ambientes fornece habitats para muitos organismos, como artrópodes, anfíbios, répteis, aves e pequenos mamíferos (Figura 4), os quais vivem intimamente relacionados com as condições climáticas ali presentes (Carvalho et al., 2008).



Fig. 3. Dunas e vegetação nas proximidades do sangradouro da Lagoa do Peixe, Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Mostardas, RS. Foto: Márcio Borges Martins

Um grupo de animais que é muito influenciado pelas condições climáticas do ambiente são os vertebrados ectotérmicos, como as serpentes. Esses organismos caracterizam-se por regular sua temperatura corporal, obtendo calor do meio externo onde vivem. Em consequência disso deslocam-se a procura de condições abióticas mais favoráveis para termorregulação (Ricklefs & Relyea, 2014). Portanto as variáveis abióticas são fatores fundamentais para este comportamento, influenciando nos padrões de atividade destes animais, o que os torna sensíveis às mudanças do ambiente (Beaupre & Douglas, 2009).



Fig. 4. Jararaca-pintada (*Bothrops pubescens*) termorregulando em área de dunas no Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Mostardas, RS. Foto: Márcio Borges Martins

Padrões de atividade de serpentes estão ligados à sazonalidade do clima. Em regiões de clima tropical, onde existe período de seca e de chuva, as serpentes em geral tendem a ser mais ativas e abundantes em períodos de maior pluviosidade (Reynolds, 1982; Strüssmann & Sazima, 1993; Marques et al., 2001). Em regiões temperadas, onde as estações são bem definidas, a atividade é muito influenciada pela temperatura, sendo mais ativas em estações mais quentes (Gannon & Secoy, 1985; Eskew & Todd, 2017). Em regiões subtropicais do Brasil a temperatura também parece ser o fator principal que afeta a atividade das serpentes (Di-Bernardo et al., 2007; Zanella & Cechin, 2009; Rocha et al., 2014; Outeiral et al., 2018). Além disso, eventuais fenômenos climáticos interanuais, como invernos mais rigorosos ou precipitação acima da média, podem ter consequências na atividade e sobrevivência de Squamata (Liz et al., 2019; Markle et al., 2020). Reconhecer esses padrões é fundamental para compreender as futuras consequências das mudanças climáticas em comunidades de serpentes e quais espécies de uma comunidade podem ser mais sensíveis às alterações.

No entanto, as serpentes são animais difíceis de serem amostrados, exigindo um grande esforço e tempo, o que muitas vezes acaba dificultando a obtenção de dados ecológicos sobre esse grupo (Luiselli, 2006). Oliveira (2005) estudou ao longo de seis anos uma área de 333 hectares de dunas no litoral norte do RS (Figura 5). Durante esse período, ele capturou 1955 serpentes (Figura 6), pertencentes a 15 espécies, onde foi possível contribuir com informações sobre comportamento, atividade, dieta e reprodução desses animais. A partir destes dados, foi possível perceber flutuações ao longo do tempo na atividade das espécies. O presente estudo visa compreender se as variáveis ambientais locais, como temperatura e pluviosidade, poderiam estar relacionadas com essas flutuações de atividade.



Fig. 5. Área de dunas com vegetação e lagoa, estudada por Oliveira (2005) em Magistério, litoral norte do RS (30°21'S; 050°17'W). Foto: Márcio Borges Martins



Fig. 6. Papa-pinto (*Philodryas patagoniensis*) em área de dunas em Magistério, RS (30°21'S; 050°17'W). Foto: Márcio Borges Martins

Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar como as variáveis abióticas, temperatura e pluviosidade, influenciam na atividade de uma assembleia de serpentes em uma área de dunas no Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

Hipóteses

Esperamos que a atividade de serpentes seja menor em épocas mais frias, devido às limitações fisiológicas da termorregulação, mas que não apresente diferença de atividades em épocas de maior ou menor pluviosidade, conforme visto em outras áreas de clima subtropical (Di-Bernardo et al., 2007; Zanella & Cechin, 2009; Rocha et al., 2014; Outeiral et al., 2018). Contudo, acreditamos que a pluviosidade na estação anterior à amostragem pode ter efeito indireto sobre as populações de presas e assim afetar a atividade das serpentes (Henderson *et al.* 1978).

REFERÊNCIAS

- Beaupre, S.J. & Douglas, L.E. (2009). Snakes as indicators and monitors of ecosystem properties. *Snakes: ecology and conservation*, 244-261.
- Calliari, L. R., Pereira, P. S., De Oliveira, A. O.; Figueiredo, S. A. (2005). Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Gravel*, 3, 15-30.
- Carvalho, R. V.; Silva, K. G.; Crivellaro, C. V. L. (2008). Gestão Ambiental de Dunas Costeiras: Conservação e Manejo. Editora Furg. Rio Grande, 32.
- Climate-data.org. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org>>. Acesso em: 12 mar 2023.
- Di-Bernardo, M., Borges-Martins, M., Oliveira, R.D., Pontes, G.M.F., Nascimento, L.B., & Oliveira, M.E. (2007). Taxocenoses de serpentes de regiões temperadas do Brasil. *Herpetologia no Brasil II*, 222-263.
- Eskew, E. A., & Todd, B. D. (2017). Too cold, too wet, too bright, or just right? Environmental predictors of snake movement and activity. *Copeia*, 105(3), 584-591.
- Gannon, V. P. J., & Secoy, D. M. (1985). Seasonal and daily activity patterns in a Canadian population of the prairie rattlesnake, *Crotalus viridus viridis*. *Canadian Journal of Zoology*, 63(1): 86-91.
- Hasenack, H. & Ferraro, L.W. 1989. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. *Pesquisas* 22: 53-70.
- Henderson, R.W.; Dixon, J. R. & Soini, P. 1978. On the seasonal incidence of tropical snakes. *Milwaukee Public Museum*, 17.
- Liz, A.V.; Santos, V.; Ribeiro, T.; Guimarães, M.; Verrastro, L. (2019). Are lizards sensitive to anomalous seasonal temperatures? Long-term thermobiological variability in a subtropical species. *PloS one*, 14(12), e0226399.
- Luiselli, L. (2006). Testing hypotheses on the ecological patterns of rarity using a novel model of study: snake communities worldwide. *Web Ecology*, 6(1), 44-58.

MapBiomias. (2021). Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Coleção 6. Acessado em 25 de agosto de 2022 de: <https://mapbiomas.org/reducao-das-praias-e-dunas-no-brasil-foi-de-15-nos-ultimos-36-anos>

Markle, C. E., Moore, P. A., & Waddington, J. M. (2020). Temporal variability of overwintering conditions for a species-at-risk snake: Implications for climate change and habitat management. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00923.

Marques, O., Eterovic, A.; Endo, W. (2001). Seasonal activity of snakes in the Atlantic forest in southeastern Brazil. *Amphibia-Reptilia*, 22(1), 103-111.

Martínez, M.L., Psuty, N.P., Lubke, R.A. (2008). A Perspective on Coastal Dunes. In: Martínez, M.L., Psuty, N.P. (eds) *Coastal Dunes*. Ecological Studies, vol 171. Springer, Berlin, Heidelberg.

Oliveira, R.B. (2005). História natural da comunidade de serpentes de uma região de dunas do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Unpublished PhD thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul*. 225pp.

Outeiral, A. B., Balestrin, R. L., Cappellari, L. H., de Lema, T., & Ferreira, V. L. (2018). Snake assemblage from Serra do Sudeste, Pampa Biome in Southern Brazil. *Herpetology Notes*, 11, 733-745.

Pinheiro, M. V. A., Moura-Fé, M. M., Freitas, E. M. N., Costa, A. T., Aguiar, A. C. S., & Sombra, E. T. P. (2013). Dunas móveis: áreas de preservação permanente? *Sociedade & Natureza*, 25, 595-607.

Reynolds, R. P. (1982). Seasonal incidence of snakes in northeastern Chihuahua, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 161-166.

Ricklefs, R.; Relyea, R. (2014). *The Economy of Nature*. Seventh Edition. New York: W. H. Freeman and Company.

Rocha, M. C., Hartmann, P. A., Winck, G. R., & Cechin, S. Z. (2014). Seasonal, daily activity, and habitat use by three sympatric pit vipers (Serpentes, Viperidae) from southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86, 695-706.

Strüssmann, C., & Sazima, I. (1993). The snake assemblage of the Pantanal at Poconé, western Brazil: faunal composition and ecological summary. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 28(3), 157-168.

Tomazelli, L. (1993). O regime dos ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 20(1), 18-26.

Tomazelli, L. J., Dillenburg, S. R., Barboza, E. G.; Strim, J. (2003). O sistema de dunas eólicas transgressivas do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: situação atual e definição de áreas prioritárias à preservação. In Congresso, 9º, Anais, CD-ROM (Vol. 4).

Villwock, J. A., Lessa, G. C., Suguio, K., Angulo, R. J., & Dillenburg, S. R. (2005). Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. *Quaternário do Brasil*, 378.

Zanella, N. & Cechin, S.Z. (2009). Influência dos fatores abióticos e da disponibilidade de presas sobre comunidade de serpentes do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. *Iheringia. Série Zoologia*, 99(1), 111-114.

NOTA: Para as dissertações de Mestrado que forem apresentadas em forma de artigo, o Programa de Pós-graduação em Biologia Animal estabelece que o manuscrito seja colocado nas normas editoriais exigidas pelo periódico científico escolhido para publicação. Este manuscrito foi formatado conforme as normas da revista *Cuadernos de Herpetología*, exceto pela inclusão de tabelas e figuras ao longo do texto para facilitar a leitura da dissertação.

Influência de variáveis abióticas na atividade de serpentes em uma área de dunas costeiras no sul do Brasil

Julia Veiga Pereira¹, Márcio Borges-Martins¹

¹ Laboratório de Herpetologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

julia.veiga@outlook.com

J. Pereira & M. Borges-Martins. Abiotic influences on snake activity.

RESUMO

As serpentes de regiões de clima subtropical costumam ser menos ativas em períodos mais frios. A pluviosidade tende a não ser uma variável significativa para influenciar na atividade de serpentes nessas regiões. No entanto, existem poucos dados sobre atividade de comunidades de serpentes em áreas de clima subtropical no Neotrópico, bem como poucos trabalhos avaliaram essas relações em escalas maiores de tempo. Nesse estudo utilizamos dados de uma comunidade de serpentes de uma região de dunas, para investigar como a temperatura e a pluviosidade estariam influenciando na atividade destes organismos. Analisamos dados de atividade de 1910 exemplares de serpentes pertencentes a 15 espécies, obtidos entre 1998 e 2004 em uma área de dunas no sul do Brasil, na praia de Magistério, Balneário Pinhal, Rio Grande do Sul. A contagem de espécimes por dia de amostragem foi utilizada como medida para avaliar a atividade. As variáveis ambientais, temperatura média mínima, pluviosidade da estação e pluviosidade da estação anterior foram selecionadas como variáveis possivelmente preditoras da atividade. As análises foram feitas através de Modelos Lineares

Generalizados com distribuição binomial negativa. A temperatura mínima, a pluviosidade da estação e a interação entre a pluviosidade da estação anterior e a temperatura mínima demonstraram influenciar significativamente na atividade de serpentes. Esses resultados demonstraram relações inesperadas e permitiram discutir as relações entre pluviosidade e temperatura nas dunas e suas conseqüentes relações com a diversificação de microhabitats e aumento de áreas alagadas, o que poderia estar facilitando na movimentação e forrageamento das serpentes da área.

Palavras-chave: Temperatura; Pluviosidade; Clima Subtropical; Análise temporal.

ABSTRACT

Snakes from regions with a subtropical climate tend to be less active in colder periods. Rainfall tends not to be a significant variable to influence snake activity in these regions. However, there are few data on the activity of snake communities in subtropical areas in the Neotropics, as well as few works have evaluated these relationships on larger time scales. In this study, we used data from a snake community in a dune region, to investigate how temperature and rainfall would be influencing the activity of these organisms. We analyzed activity data from 1910 specimens of snakes belonging to 15 species, obtained between 1998 and 2004 in an area of dunes in southern Brazil, on Magistério beach, Balneário Pinhal, Rio Grande do Sul. The specimen count per sampling day was used as a measure to assess activity. The environmental variables, minimum average temperature, rainfall in the season and rainfall in the previous season were selected as variables that could possibly predict the activity. Analyzes were performed using Generalized Linear Models with negative binomial distribution. Minimum temperature, seasonal rainfall and the interaction between previous season

rainfall and minimum average temperature have been shown to significantly influence snake activity. These results showed unexpected relationships and allowed us to discuss the relationships between rainfall and temperature in the dunes and their consequent relationships with the diversification of microhabitats and the increase in flooded areas, which could be facilitating the movement and foraging of snakes in the area.

Key Words: Temperature; Rainfall; Subtropical climate; Temporal analysis.

Introdução

Padrões de atividade de serpentes respondem à sazonalidade do clima. Em regiões de clima tropical, onde existem períodos de seca e de chuva, as serpentes em geral tendem a ser mais ativas e abundantes em meses de maior pluviosidade (Reynolds, 1892; Strüssmann e Sazima, 1993; Marques *et al.*, 2001). Em regiões temperadas, onde as estações são bem definidas, a atividade é muito influenciada pela temperatura, sendo mais ativas em estações mais quentes (Gannon e Secoy, 1985; Eskew e Todd, 2017).

O sul do Brasil possui clima classificado como subtropical, o qual caracteriza-se por invernos frios, verões muito quentes e chuvas geralmente uniformes ao longo do ano (Hasenack e Ferraro, 1989; Climate-data.org, 2023). Devido à variação na temperatura bem delimitada pelas estações, a atividade das serpentes desse clima parece responder a esta variável, sendo menos encontradas em meses frios (Di-Bernardo *et al.*, 2007; Zanella e Cechin, 2009; Rocha *et al.*, 2014; Outeiral *et al.*, 2018). Como as chuvas são mais uniformes, a maioria dos trabalhos realizados nessa região não apresenta grandes relações com variáveis de pluviosidade. No entanto, esses animais são difíceis de serem amostrados, exigindo um grande esforço e tempo (Luiselli, 2006),

o que dificulta na realização de pesquisas e, conseqüentemente, no entendimento de diversas relações ecológicas com o meio ambiente.

Oliveira (2005) estudou ao longo de seis anos uma área de 333 hectares de dunas no litoral norte do Rio Grande do Sul (RS). Durante esse período, ele capturou 1955 serpentes, pertencentes a 15 espécies, onde foi possível contribuir com informações sobre comportamento, atividade, dieta e reprodução desses animais.

As dunas dessa região caracterizam-se por serem ambientes abertos de vegetação escassa, contudo apresentam habitats muito diversificados por possuírem banhados e poças temporárias que são influenciadas pelas chuvas (Tomazelli *et al.*, 2003). As características do ambiente, além de proporcionarem microhabitats e locais com boa obtenção de calor, fazem com que a visualização e encontro das serpentes sejam mais fáceis (Oliveira, 2005). Somado a extensa amostragem em um intervalo longo, como seis anos, é possível adquirir dados importantíssimos acerca das relações ecológicas desses organismos com o ambiente.

A partir de dados obtidos por Oliveira (2005) o presente estudo visa compreender em que medida a temperatura e a pluviosidade poderiam estar influenciando na atividade de serpentes dessa área. Buscamos também explorar possíveis efeitos tardios das chuvas, investigando possíveis relações da atividade com a pluviosidade na estação anterior.

Materiais e Métodos

Área de estudo

A área do estudo localiza-se em Magistério (30°21'S; 050°17'W) no município Balneário Pinhal, Planície Costeira do Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul (Fig. 1). A área fica entre as lagoas da Cerquinha e do Cipó, possui 333 ha e é caracterizada principalmente por possuir dunas móveis e depressões úmidas, as quais são alagáveis em épocas de alta pluviosidade, formando poças temporárias (Fig. 2). Está distante cerca de 1000 m do oceano Atlântico, com altitude que atinge poucos metros acima do nível do mar. A vegetação é escassa, predominando gramíneas, sendo mais densa próximo às lagoas, onde formam-se banhados permanentes (Oliveira, 2005).



Figura 1 - Área amostrada pelo estudo (em vermelho) no município de Balneário Pinhal, Rio Grande do Sul, Brasil. Imagem do Google Earth.

O clima da região é classificado como Clima Subtropical Úmido de Köppen-Geiger (“Cfa”) (Hasenack e Ferraro, 1989; Climate-data.org, 2023). As temperaturas médias mensais variam de 14,9°C em julho a 24.5°C em fevereiro (Fig. 3), com média anual igual a 19,8°C (Climate-data.org, 2023). A precipitação em geral é uniforme ao longo do ano (Fig. 3), com uma diferença de 56 mm entre a precipitação do mês mais seco (abril) ao mês mais chuvoso (outubro), com média anual de 1390 mm (Climate-data.org, 2023). Durante o período do estudo, os dados meteorológicos foram obtidos junto à Estação Meteorológica do Departamento Estadual de Portos, Rios e Canais (DEPRC), situada no município de Imbé, a cerca de 35 km da área de estudo.



Figura 2 - Exemplos de cobertura das dunas amostradas no município de Balneário Pinhal, Rio Grande do Sul, Brasil. Fotos: Julia Veiga Pereira.

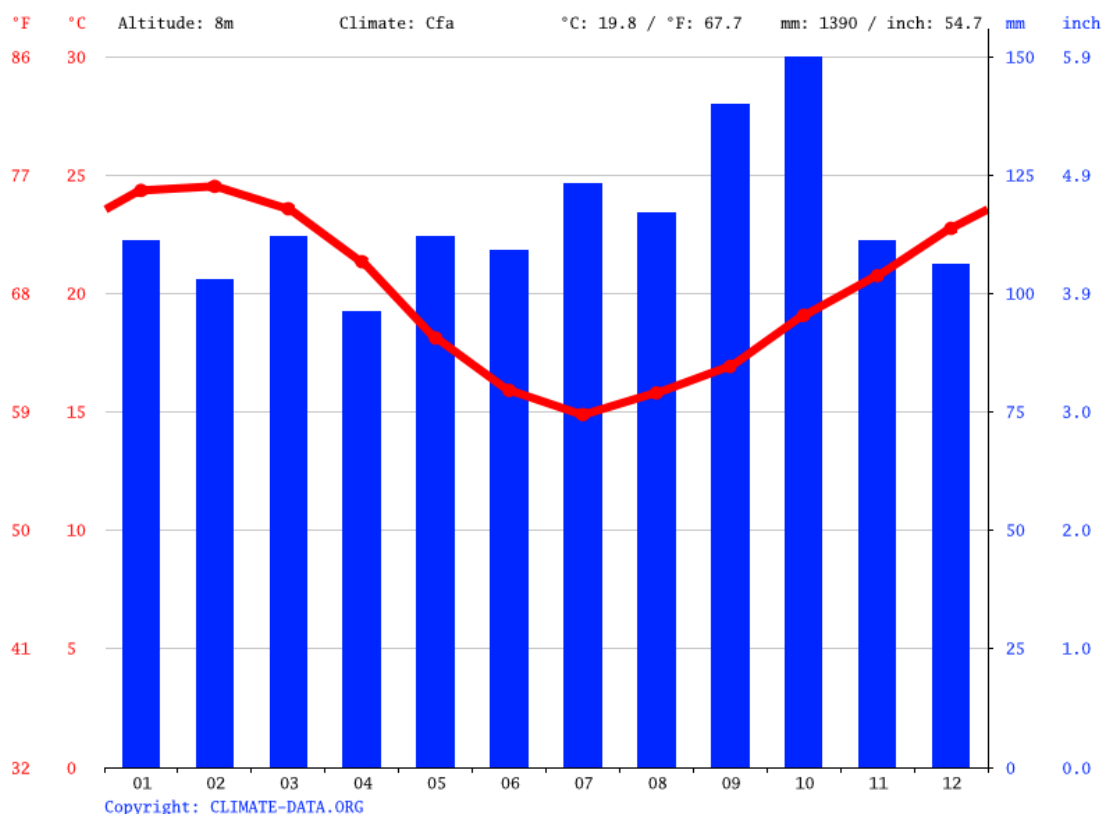


Figura 3 - Médias históricas da precipitação (mm) em azul e temperatura (°C) em vermelho no município de Balneário Pinhal em cada mês do ano. Dados obtidos do site Climate-data.org (2023).

Coleta de dados

Os dados analisados neste estudo foram obtidos em uma amostragem realizada entre julho de 1998 e junho de 2004, através de coleta ativa, manual e ocasional, conforme descrito em Oliveira (1995). O esforço de captura foi heterogêneo, pois durante o tempo procurou-se amostrar em diferentes períodos do dia, entre 06:00 e 18:00, durante - em média - 4 horas por dia e 8 dias por mês. A média de esforço por estação foi de 69 horas e 45 minutos, sendo maior na primavera e menor no verão (Fig. 4). Apesar da heterogeneidade, o esforço foi grande em todos os períodos amostrados,

garantindo a obtenção de um conjunto grande de dados de atividade para todas as estações, ao longo de todo o período amostrado.

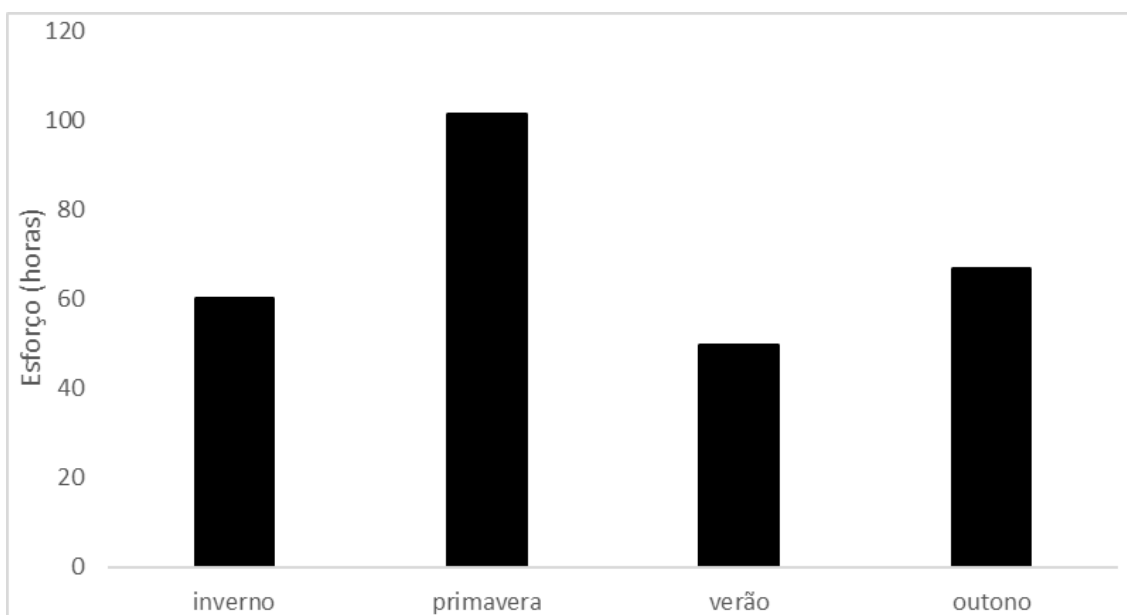


Figura 4 - Média de horas em campo em cada estação do ano do inverno de 1998 ao outono de 2004.

Quando as serpentes foram capturadas, registrou-se o horário de coleta, a espécie e informações sobre o comportamento do indivíduo e sobre as condições climáticas no momento do encontro. Cada local foi georreferenciado com GPS Garmin 45 XL e marcado com fitas coloridas. As serpentes foram marcadas, de acordo com Pontes e Di-Bernardo (1997), por meio de tatuagem à quente nas escamas ventrais e posteriormente foram soltas no mesmo local de encontro.

Análise dos dados

Para avaliar a influência de variáveis ambientais na atividade das serpentes encontradas utilizou-se a contagem de espécimes na área de estudo como variável resposta, e as variáveis ambientais: 1) temperatura média mínima (°C) da estação (TMI), 2) precipitação média acumulada (mm) da estação (PLE) e 3) precipitação média

acumulada (mm) da estação anterior (PLA), como variáveis preditoras. Utilizamos a Estação do Ano como unidade amostral temporal para avaliar a influência das variáveis abióticas. Agrupamos todas as idas a campo por estação, totalizando 24 unidades amostrais, para detectar padrões sazonais na atividade. Dessa forma garantimos uma maior homogeneização do esforço amostral e diminuimos os efeitos aleatórios inerentes às amostragens pontuais diárias. Optou-se por usar a TMI como variável de temperatura, pois as serpentes tendem a ser menos ativas em períodos frios e essa variável parece ser importante em outros trabalhos avaliando atividade de serpentes de regiões temperadas, mas classificadas como clima Subtropical de Köppen-Geiger (Rocha et al., 2014; Eskew e Todd, 2017). As variáveis de PLE e PLA foram escolhidas devido às características da área estudada: períodos de alta pluviosidade formam poças temporárias, e essa diversificação de habitat pode ser prolongada por chuvas na estação anterior, podendo ter efeito indireto sobre as populações de presas e assim afetar a atividade das serpentes (Henderson *et al.* 1978). Não houve correlação significativa entre as variáveis preditoras analisadas (Tabela 1).

Tabela 1 - Correlação de Pearson entre variáveis: Pluviosidade Média Acumulada da Estação (PLE), Pluviosidade Média Acumulada da Estação Anterior (PLA) e Temperatura Média Mínima (TMI).

Variáveis	p-value	cor
PLE x PLA	0.08353	-0.3605079
PLE x TMI	0.1523	-0.3014254
PLA x TMI	0.371	0.191122

Modelos Lineares Generalizados com distribuição Binomial Negativa foram utilizados para analisar a influência das variáveis na atividade. Usou-se Binomial Negativa porque os dados coletados são resultado de contagem que apresentaram *overdispersion* (Venables e Ripley, 2002). Quatro modelos foram realizados: 1) modelo englobando todas variáveis e interações possíveis (TMI*PLE*PLA); 2) apenas TMI; 3) apenas PLE; 4) apenas PLA. Para escolher os melhores modelos utilizou-se o *Akaike Information Criterion* - AIC (Burnham e Anderson, 2002). Após definir os melhores modelos, foi analisada a significância do valor de p ($> 0,05$) das variáveis em cada um. Todas as análises foram feitas no software RStudio utilizando o pacote *MASS* e os gráficos foram feitos com o pacote *ggplot2*.

Resultados

Ao longo de seis anos de amostragem, 1910 serpentes distribuídas em 15 espécies foram registradas na área de estudo: *Xenodon dorbignyi* (Bibron, 1854) (n=766), *Philodryas patagoniensis* (Girard, 1858) (n=462), *Erythrolamprus poecilogyrus* (Wied-Neuwied, 1825) (n=343), *Lygophis flavifrenatus* Cope, 1862 (n=105), *Helicops infrataeniatus* (Jan, 1865) (n=103), *Erythrolamprus jaegeri* (Günther, 1858) (n=59), *Erythrolamprus miliaris* (Linnaeus, 1758) (n=52), *Helicops* sp. (n=3), *Phalotris lemniscatus* (Duméril, Bibron & Duméril, 1854) (n=2), *Boiruna maculata* (Boulenger, 1896) (n=1), *Oxyrhopus rhombifer* Duméril, Bibron & Duméril, 1854 (n=1), *Philodryas aestiva* (Duméril, Bibron & Duméril, 1854) (n=1), *Taeniophallus poecilopogon* (Cope, 1863) (n=1), *Thamnodynastes hypoconia* (Cope, 1860) (n=1) (Dipsadidae) e *Bothrops alternatus* Duméril, Bibron & Duméril, 1854 (n=10) (Viperidae). As serpentes tiveram maior atividade na primavera e menor atividade no inverno e no verão (Fig. 5).

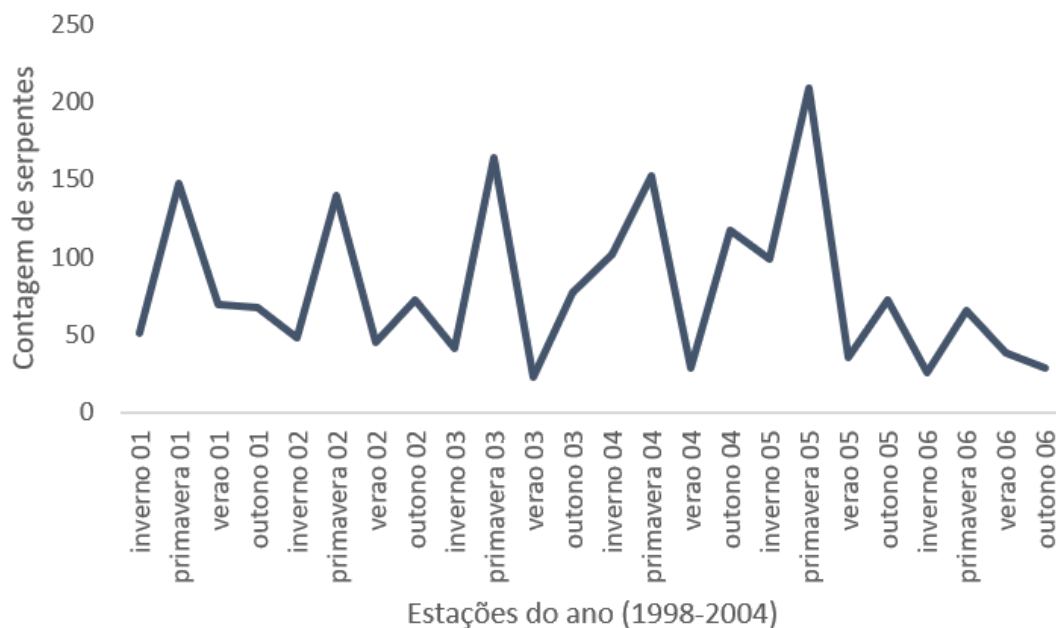


Figura 5 - Atividade de serpentes (contagem de espécimes) em cada estação (de 1998 a 2004).

Em relação à comparação de modelos, percebemos que os valores de AIC não variaram muito (Tabela 2). Já na interpretação de resultados em termos de valor de p, apenas o modelo TMI*PLE*PLA apresentou resultados com valores de p significativos: TMI ($p=0.0460$), PLE ($p=0.0471$) e a interação entre a TMI e PLA ($p=0.0447$). Podemos observar uma relação entre a atividade de serpentes e a precipitação e temperatura (Fig. 6). Conforme a precipitação aumenta, o número de serpentes também aumenta (B). Observa-se também uma leve tendência de aumento na contagem conforme o aumento de precipitação na estação anterior (A), porém não significativa. Já em relação à temperatura mínima, existe uma diminuição no número de espécimes (C).

Tabela 2 - Comparação dos modelos para cada valor do Akaike Information Criterion

(AIC), graus de liberdade (df) e valor de p. PLE=Precipitação média da estação;

TMI=Temperatura mínima; PLA=Precipitação média da estação anterior.

Modelos	AIC	Df	p
PLE	251.7	3	0.101
TMI	253.2	3	0.306
PLA	253.4	3	0.47
PLE*TMI*PLA	258.1	9	TMI= 0.0460 PLE=0.0471 PLA= 0.0502 TMI:PLE= 0.0626 TMI:PLA= 0.0447 PLE:PLA= 0.0725 TMI:PLE:PLA= 0.0697

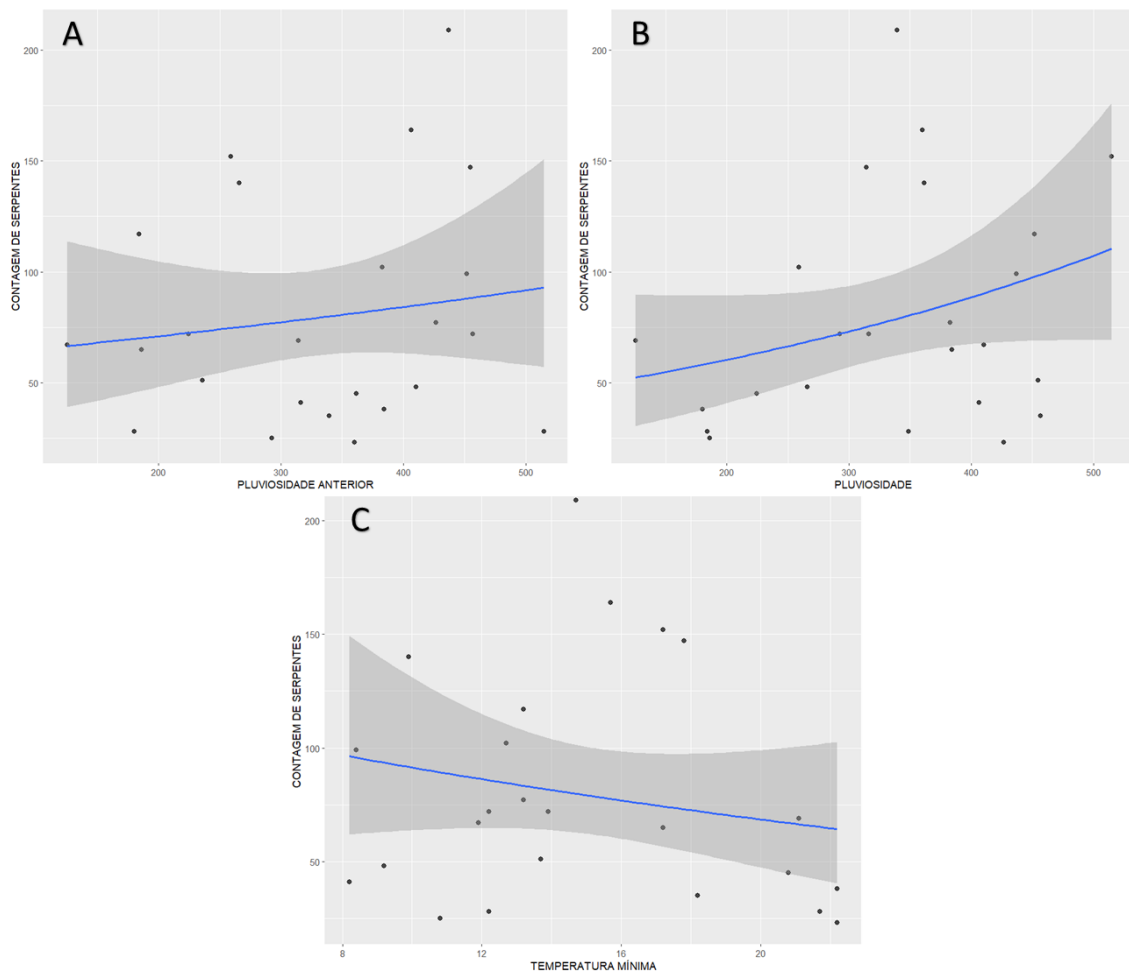


Figura 6 - Gráficos dos resultados do GLM para Pluviosidade da estação anterior (A), Pluviosidade da estação (B) e Temperatura mínima da estação (C).

Os resultados encontrados demonstram que as variáveis temperatura mínima e pluviosidade da estação podem influenciar significativamente a atividade de serpentes quando incluídas em modelos que considerem suas interações. Ou seja, essas variáveis influenciam na atividade desses organismos, porém precisam ser analisadas em conjunto com outras variáveis para conseguir detectar essa influência.

Foi possível observar uma relação de diminuição da atividade conforme a temperatura mínima aumenta (Fig. 6 - C). Resultado que vai contra nossa hipótese, baseada em diversos trabalhos em que serpentes são mais ativas e abundantes em temperaturas maiores (Di-Bernardo *et al.*, 2007; Zanella e Cechin, 2009; Rocha *et al.*,

2014; Outeiral *et al.*, 2018). No entanto, quando comparamos as variáveis climáticas dos municípios desses trabalhos, percebemos que em Balneário Pinhal a temperatura mínima média é a maior (Tabela 3). Além disso, vale ressaltar que a alta exposição solar de ambientes abertos e arenosos faz com que o substrato esteja mais quente que a temperatura ambiente, podendo atingir mais de 40 °C como apontado por Oliveira (2005). Ou seja, em tais condições as serpentes da área podem preferir temperaturas mínimas mais baixas do que altas.

Tabela 3 - Comparação entre as temperaturas médias mínimas (TMI) e Pluviosidade anual (PL) dos Municípios dos trabalhos que avaliaram Taxocenoses de serpentes no Rio Grande do Sul (RS) inseridos no clima Subtropical. Variáveis climáticas consultadas em Climate-Data.org (2023).

Municípios do RS (Artigo)	TM (°C)	PL (mm)
Balneário Pinhal (presente estudo)	14.9	1390
Passo Fundo (Zanella & Cechin, 2009)	12.8	2058
São Francisco de Paula (Di-Bernardo et al., 2007)	11.5	2111
Derrubadas (Rocha et al., 2014)	14.4	2006
Barão do Triunfo (Outeiral et al., 2018)	12.6	1717
São Jerônimo (Outeiral et al., 2018)	13.6	1573
Dom Feliciano (Outeiral et al., 2018)	12.5	1643
Encruzilhada do Sul (Outeiral et al., 2018)	11.8	1625

Por outro lado, podemos perceber uma tendência de aumento da atividade das serpentes conforme a pluviosidade aumenta (Fig. 6 - B). Esses resultados indicaram uma relevância interessante das chuvas para a atividade das serpentes da área, visto que essa variável não demonstrou ser importante para atividade de serpentes em outras regiões do Rio Grande do Sul (Di-Bernardo *et al.*, 2007; Zanella e Cechin, 2009; Rocha *et al.*, 2014; Outeiral *et al.*, 2018). Podemos observar na Tabela 3 que a pluviosidade anual de Balneário Pinhal possui o menor valor dentre os outros municípios, indicando que mesmo em latitudes e conseqüentemente clima similares, regiões litorâneas possuem diferenças climáticas importantes de serem exploradas.

Outro resultado interessante foi que a interação entre temperatura mínima e pluviosidade da estação anterior influenciam na atividade das serpentes. Uma possível explicação para esse resultado seria a relação da evaporação de poças temporárias presentes nas dunas. Uma soma de muitas chuvas em uma estação e uma temperatura mínima mais baixa na estação seguinte facilitaria a permanência de poças temporárias, porque com a temperatura mais baixa, a evaporação das poças acumuladas de uma estação à outra seria menor. Conseqüentemente, mais vegetação associada a essas áreas alagadas cresceria, ocasionando numa maior diversificação de habitats e microhabitats. O Laboratório de Oceanologia Geológica da Universidade Federal de Rio Grande (LOG/FURG), entre 1991 a 2001, analisou a presença de corpos d'água que irrigam a região de dunas, denominados "sangradouros", no litoral médio do RS (que inicia cerca de 13 km ao sul da praia de Magistério). Foi verificado que no inverno devido altas taxas pluviométricas, o número de sangradouros aumentou, e no verão, onde as taxas pluviométricas diminuem e a evaporação é maior por causa do calor, o número de sangradouros reduziu (Calliari *et al.*, 2005). Tomazelli *et al.* (2003) também ressaltou que nas áreas de interdunas de Balneário Pinhal é comum ocorrerem mais corpos d'água

temporários no inverno. Apesar da evaporação não ter sido utilizada como variável no presente estudo, é possível que a interação significativa entre as variáveis testadas esteja indicando indiretamente a influência desse efeito.

Essa diversificação do habitat em decorrência de áreas alagadas pode tornar mais fácil a movimentação e atividade das serpentes, pois fornece mais locais de abrigos para termorregulação e para proteção contra predadores. Além disso, pode facilitar no forrageamento das serpentes, visto que a maioria das espécies amostradas predam anuros, inclusive as três espécies mais abundantes: *Xenodon dorbignyi*, *Philodryas patagoniensis* e *Erythrolamprus poecilogyrus* possuem esses anfíbios como um dos principais componentes de sua dieta (Oliveira *et al.*, 2000; Hartmann e Marques, 2005; Xavier e Quintela, 2007). Logo um ambiente com mais áreas alagadas, além de fornecer abrigo para serpentes se defenderem de predadores, também fornece locais propícios para forragear em busca de suas presas.

Para um melhor entendimento das complexas relações entre a atividade de serpentes e o ambiente de dunas, alguns aspectos poderiam ser testados em trabalhos futuros. Medir a quantidade de água ou a altura da lâmina d'água das poças temporárias ao longo do tempo seria interessante para avaliar se a evaporação possui efeito sobre a atividade. Ademais investigar a disponibilidade de presas, como anuros, e se as variáveis do ambiente influenciam em suas abundâncias, complementaria os resultados. Vale ressaltar que pesquisas durante um longo tempo com comunidades de serpentes possuem grandes dificuldades de esforço e recurso, o que acarreta em pouco conhecimento de suas relações ecológicas, principalmente na região de clima subtropical. No entanto, esse tipo de pesquisa é fundamental para compreensão da influência de variáveis climáticas sobre a atividade destes ectotérmicos, portanto é

necessário um maior incentivo de estudos ecológicos e temporais com esses vertebrados.

Esses resultados não demonstram apenas a importância do ecossistema de dunas e suas variáveis abióticas para a atividade de serpentes, mas também para toda diversidade ali presente. É urgente a necessidade de medidas de conservação mais eficazes para desacelerar a constante degradação que ocorre neste local. As áreas de dunas são extremamente diversas e podem ser exploradas de maneira sustentável, trazendo conhecimento e educação ambiental para a população.

REFERÊNCIAS

Burnham, K.P. & Anderson, D.R. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edn. Springer. New York.

Calliari, L.R.; Pereira, P.S.; De Oliveira, A.O. & Figueiredo, S.A. 2005. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Gravel* 3:15-30.

Climate-data.org. 2023. Climate Data. Acesso em: 12 mar 2023. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org>>.

Di-Bernardo, M.; Borges-Martins, M.; Oliveira, R.D.; Pontes, G.M.F.; Nascimento, L.B., & Oliveira, M.E. 2007. Taxocenoses de serpentes de regiões temperadas do Brasil. *Herpetologia no Brasil II* 222-263.

Eskew, E.A. & Todd, B.D. 2017. Too cold, too wet, too bright, or just right? Environmental predictors of snake movement and activity. *Copeia*, 105(3): 584-591.

- Gannon, V.P.J. & Secoy, D.M. 1985. Seasonal and daily activity patterns in a Canadian population of the prairie rattlesnake, *Crotalus viridis viridis*. *Canadian Journal of Zoology* 63(1): 86-91.
- Hasenack, H. & Ferraro, L.W. 1989. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. *Pesquisas* 22: 53-70.
- Henderson, R.W.; Dixon, J. R. & Soini, P. 1978. On the seasonal incidence of tropical snakes. *Milwaukee Public Museum*, 17.
- Liz, A.V.; Santos, V.; Ribeiro, T.; Guimarães, M. & Verrastro, L. 2019. Are lizards sensitive to anomalous seasonal temperatures? Long-term thermobiological variability in a subtropical species. *PloS one* 14(12): e0226399.
- Luiselli, L. 2006. Testing hypotheses on the ecological patterns of rarity using a novel model of study: snake communities worldwide. *Web Ecology* 6(1): 44-58.
- Markle, C.E., Moore, P.A. & Waddington, J.M. 2020. Temporal variability of overwintering conditions for a species-at-risk snake: Implications for climate change and habitat management. *Global Ecology and Conservation* 22: e00923.
- Marques, O., Eterovic, A.; Endo, W. (2001). Seasonal activity of snakes in the Atlantic forest in southeastern Brazil. *Amphibia-Reptilia* 22(1): 103-111.
- Marques, O. & Hartmann, P. 2005. Diet and habitat use of two sympatric species of *Philodryas* (Colubridae), in south Brazil. *Amphibia-Reptilia* 26(1): 25-31.
- Oliveira, R.B.; Di-Bernardo, M.; Pontes, G.M.F., Maciel, A.P. & Krause, L. 2001. Dieta e comportamento alimentar da Cobra-nariguda *Listrophis dorbignyi* (Dumeril, Bibrón &

Duméril, 1854), no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Cuadernos de Herpetología* 14.

Oliveira, R.B. 2005. História natural da comunidade de serpentes de uma região de dunas do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Unpublished PhD thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 225p.

Outeiral, A.B.; Balestrin, R.L.; Cappellari, L.H.; Lema, T. & Ferreira, V.L. 2018. Snake assemblage from Serra do Sudeste, Pampa Biome in Southern Brazil. *Herpetology Notes* 11:733-745.

Pontes, G.M.F. & Di-Bernardo, M. 1997. Novo método para a marcação individual de serpentes em campo, com vistas a estudos biológicos. III Congresso Argentino de Herpetologia. Corrientes.

Reynolds, R.P. 1982. Seasonal incidence of snakes in northeastern Chihuahua, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 161-166.

Rocha, M.C.; Hartmann, P.A.; Winck, G.R. & Cechin, S.Z. 2014. Seasonal, daily activity, and habitat use by three sympatric pit vipers (Serpentes, Viperidae) from southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 86: 695-706.

Strüssmann, C. & Sazima, I. 1993. The snake assemblage of the Pantanal at Poconé, western Brazil: faunal composition and ecological summary. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 28(3): 157-168.

Tomazelli, L.J.; Dillenburg, S.R.; Barboza, E.G. & Strim, J. 2003. O sistema de dunas eólicas transgressivas do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: situação atual e definição de áreas prioritárias à preservação. In Congresso, 9º, Anais, CD-ROM (Vol. 4).

Venables, W.N. & Ripley, B.D. 2002. Modern Applied Statistics with S. Fourth edition. Springer.

Xavier, J.I. & Quintela, F.M. 2007. Notas sobre a dieta de colubrídeos (Serpentes: Colubridae) na região sul da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil.

Zanella, N. & Cechin, S.Z. 2009. Influência dos fatores abióticos e da disponibilidade de presas sobre comunidade de serpentes do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. *Iheringia. Série Zoologia* 99(1): 111-114.

CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos ressaltam a importância de compreender melhor a influência de variáveis climáticas sobre a atividade de ectotérmicos e demonstraram como o conhecimento sobre essa relação ainda é insatisfatório para comunidades de serpentes de clima subtropical. Variáveis como temperatura e pluviosidade demonstraram ser mais importantes, e ter relações mais complexas, do que era esperado para as serpentes. Além disso, a influência da temperatura de forma indireta, através da evaporação dos corpos d'água é um aspecto que pode ser testado em estudos futuros. Investigar o efeito dessas variáveis nos microhabitats e nas áreas alagadas será fundamental para melhor compreender um ecossistema tão complexo, como o das dunas.