

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE ANIMAL

Álvaro Augusto Mainardi

**ATIVIDADE DE VOCALIZAÇÃO DE *Crossodactylus schmidtii* (ANURA:  
HYLODIDAE) SOB A INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA**

Santa Maria, RS  
2020

**Álvaro Augusto Mainardi**

**ATIVIDADE DE VOCALIZAÇÃO DE *Crossodactylus schmidti* (ANURA:  
HYLODIDAE) SOB A INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Biodiversidade Animal**.

Orientador: Prof. Dr. André Passaglia Schuch  
Coorientador: Dr. Maurício Beux dos Santos

Santa Maria, RS  
2020

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Mainardi, Álvaro Augusto  
ATIVIDADE DE VOCALIZAÇÃO DE *Crossodactylus schmidti*  
(ANURA: HYLODIDAE) SOB A INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO  
ULTRAVIOLETA / Álvaro Augusto Mainardi.- 2020.  
59 p.; 30 cm

Orientador: André Passaglia Schuch  
Coorientador: Maurício Beux dos Santos  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, RS, 2020

1. Desenvolvimento de um Data logger UV 2. Verificação  
da influencia da radiação ultravioleta em atividade de  
vocalização de anuros I. Schuch, André Passaglia II.  
Santos, Maurício Beux dos III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ÁLVARO AUGUSTO MAINARDI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Álvaro Augusto Mainardi**

**ATIVIDADE DE VOCALIZAÇÃO DE *Crossodactylus schmidti* (ANURA:  
HYLODIDAE) SOB A INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Biodiversidade Animal**.

**Aprovado em 04 de setembro de 2020:**

---

**Dr. André Passaglia Schuch, (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Dr. Sandro Santos (UFSM)**

---

**Dr. Victor Mendes Lipinski (UNEMAT)**

Santa Maria, RS  
2020

**Ao meu Pai e meu Avô, por me ensinarem a não deixar de sorrir nem mesmo nos momentos de dificuldade.**

## AGRADECIMENTOS

Durante o período do mestrado muitas pessoas foram importantes para que este trabalho pudesse ser desenvolvido, algumas contribuíram através de seu conhecimento, outras através de seu apoio. Mas o final desta curta jornada me trouxe muito conhecimento, mas principalmente me permitiu conhecer muitas pessoas, algumas tornaram-se grandes amigos e a estas eu devo meu agradecimento.

Em especial gostaria de agradecer meu orientador **André Passaglia Schuch**, pela confiança, por todo o aprendizado e apoio durante o mestrado e por ser um exemplo de profissional, mas principalmente agradeço pelo constante incentivo na busca de novos conhecimentos e por mostrar que estes, quando bem utilizados, podem gerar grandes frutos.

Ao meu Coorientador **Máuricio Beux dos Santos** por ter aberto as portas da própria casa quando eu era apenas um aspirante a aluno, perdido em uma cidade nova, por ter me ajudado quando eu não sabia por onde começar ou como terminar, por ter dividido sua experiência e suas histórias, por confiar em mim como profissional. Mas principalmente por ter confiado a chave do fusca, mesmo que eu não tenha conseguido ligá-lo.

Ao Dr. **Vinicius Matheus Caldart** por toda a ajuda no desenvolvimento do trabalho.

A **CAPES** – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os professores do **PPGBA** por mostrarem como o educador possui um papel importante para o desenvolvimento de uma sociedade melhor, e por dividir um pouco de todo seu conhecimento com seus alunos.

A todos os membros do **Laboratório de Fotobiologia** por terem me recebido tão bem, mesmo eu sendo o cara que fica quieto no canto sem falar nada, considero vocês grandes amigos e grandes profissionais.

À toda a equipe do Parque Estadual do Turvo pela ajuda durante a coleta de dados, e ao próprio Parque, lugar este pelo qual guardo muito apreço, e muitas lembranças.

A meu amigo **Marcelo Carvalho da Rocha**, por abrir meus olhos para todas as possibilidades que a Biologia me traria, sendo o primeiro professor que eu conheci na Graduação e que futuramente viria ser meu orientador. Também agradeço por tudo que você me proporcionou, se hoje estou concluindo mais uma etapa é por todo o seu incentivo e toda sua ajuda.

A minha amiga **Gislaine Puli** e meu amigo **Júlio Cezar** por todas as conversas, as risadas e os churrascos, aqueles que foram e aqueles que ainda virão.

Ao meu amigo **Felipe Pavan** pela amizade, pelas conversas, pelas risadas e mais risadas e pelo excelente exemplo de profissionalismo.

A minha cunhada **Juliana Carine Machado** pelo exemplo de perseverança e dedicação, mas principalmente por tudo que você fez e faz pela família e por todo o amor que você demonstra pelo meu irmão.

A minha mãe **Clarice Inês Mainardi** por todo o apoio e por ser o exemplo de uma mulher batalhadora, que deu sangue e suor e aguentou um mundo inteiro nas costas para garantir a melhor educação para os filhos, ao meu irmão **Fernando Augusto Mainardi** pelo exemplo que você foi para mim, por ter me ensinado e continuar me ensinando tudo sobre a vida o universo e tudo mais, eu amo muito vocês!

A **Fátima Cristine Mueller**, como amiga e colega bióloga por toda a ajuda em campo e também assumindo a difícil tarefa de ajudar este jovem disléxico durante o árdua processo de escrita, como noiva por todo o amor, carinho e principalmente por compreender a minha ausência em muitos momentos e mesmo assim continuar sempre ao meu lado. Amo muito você!

Ao meu avô **Edgar Sulzbacher** (*in memoriam*) por ter me ensinar a respeitar a natureza, por ser um exemplo de dedicação e por provar que a idade não é um limite quando você anseia por conhecimento. E a meu pai **Gilberto Clóvis Mainardi** (*in memoriam*), por ser um exemplo de perseverança, por mostrar que a família vem acima de tudo, por saber que a educação era o futuro e desejar sempre o melhor dela para seus filhos, e graças ao seu exemplo hoje seus dois filhos estão concluindo mais uma etapa, Eu amo muito vocês!

“Se sentir que chegou ao seu limite, lembre-se do motivo pelo qual você cerra os punhos, lembre-se porque resolveu trilhar este caminho e permita que essa memória o carregue além de seus limites. – All Might”

Kōhei Horikoshi



## RESUMO

### **ATIVIDADE DE VOCALIZAÇÃO DE *Crossodactylus schmidtii* (ANURA: HYLODIDAE) SOB A INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA**

AUTOR: Álvaro Augusto Mainardi  
ORIENTADOR: Dr. André Passaglia Schuch  
COORIENTADOR: Dr. Maurício Beux dos Santos

As atividades antropogênicas, como a liberação de gases poluentes e o desmatamento, aceleram a redução do ozônio atmosférico e aumentam a incidência de radiação ultravioleta (RUV). Apesar da RUV ser essencial para a manutenção da vida na terra, também pode acarretar efeitos negativos para a saúde humana, biodiversidade e economia. Isso torna o monitoramento e registro das doses de radiação incidentes algo essencial para a tomada de decisões, tanto econômicas como para a conservação de grupos como anfíbios que são sensíveis doses elevadas de radiação ultravioleta. Assim, a presente dissertação divide-se em duas partes: o desenvolvimento de um equipamento capaz de monitorar e registrar a RUV em ambientes naturais de forma contínua, e a sua utilização para verificar a influência que esta causa sobre a vocalização de anfíbios anuros de riacho como *Crossodactylus schmidtii*. O equipamento desenvolvido é controlado por microprocessadores e possui um conjunto de sensores capacitados para registrar a radiação ultravioleta A, B, luz visível e temperatura ambiente, além de ser independente de rede elétrica e não necessitar de pessoal técnico treinado para sua manutenção e funcionamento. O equipamento foi testado e validado utilizando outros equipamentos comercialmente conhecidos. Para verificar a influência da radiação sobre a espécie de anfíbio estudada, o equipamento desenvolvido foi utilizado para monitorar a RUV incidente e para o monitoramento da atividade de vocalização foi utilizado um conjunto de gravadores, sendo ambos concomitantemente instalados no sítio de vocalização da espécie. Os resultados obtidos na primeira parte deste trabalho demonstram que nosso equipamento funciona muito bem, com alta precisão e confiabilidade, e possui potencial para alcançar diversos setores econômicos como agricultura, serviços de tecnologia da informação, desenvolvimento científico e de atenção à saúde humana. Já os resultados da segunda parte deste projeto indicam um claro efeito negativo da radiação UVB em relação à duração média dos cantos e probabilidade de emissão dos cantos, isto representa uma redução no número de cantos bem como na sua duração em períodos do dia com maior incidência de radiação UVB, e um efeito positivo da UVA em relação à duração média dos cantos o que por sua vez pode estar ligado aos mecanismos de fotoreparo do DNA. Devido as interações sociais presentes na espécie estudada também foi possível observar um efeito positivo do número de machos coespecíficos. Desta forma, pode se observar que o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas ao monitoramento contínuo da radiação ultravioleta solar possui uma grande importância e aplicação tanto para o desenvolvimento humano como para a conservação de espécies.

Palavras chave: Desenvolvimento tecnológico, radiômetro, data logger, radiação ultravioleta, anfíbios, vocalização.

## ABSTRACT

### CALLING BEHAVIOR OF *Crossodactylus schmidtii* (ANURA: HYLODIDAE) UNDER THE INFLUENCE OF ULTRAVIOLET RADIATION

AUTHOR: Álvaro Augusto Mainardi  
ADVISOR: Dr. André Passaglia Schuch  
CO-ADVISOR: Dr. Maurício Beux dos Santos

Anthropogenic activities, such as the release of polluting gases and deforestation, accelerate the stratospheric ozone depletion increasing the incidence of ultraviolet radiation (UVR). Even though essential for life, UVR has negative effects on human health, biodiversity, and economy. This makes the measurement of UVR doses essential for both economic decisions and for the conservation of groups such as amphibians, which are sensitive to environmental changes. Therefore, the present work is divided into two sections: the development of an equipment capable of measuring solar ultraviolet radiation doses in natural environments, and its use to verify the influence of ultraviolet radiation on the calling behavior of *Crossodactylus schmidtii*. The developed equipment is managed by a microcontroller and has a set of sensors capable of registering the ultraviolet radiation A, B, visible light, and air temperature. It is also independent of the electrical grid and does not require technical personnel for use. The use of this equipment has been tested and validated using others commercial types of equipment. To verify the influence of UVR on the studied species, we used the developed equipment to monitor the UVR doses and for recording the vocalization activity a recorder's array was used, being both installed at the species calling site. The results obtained in the first section of this work demonstrate that our equipment works very well and with high precision, and has the potential to reach various economic sectors such as agriculture, information technology services, scientific development, and human health care. The results obtained in the second part of this project show a negative effect of UVB on the mean duration of calls and on the probability of calling behavior, a positive effect of UVA on the mean duration of calls, as well as a positive effect of the abundance of co-specific males. Therefore, this work demonstrates that the development of new technologies applied to the continuous measurement of solar ultraviolet radiation is of great importance for human development and for the conservation of species.

Keywords: Technological development, radiometer, data logger, ultraviolet radiation, amphibians, vocalization.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1**– Croqui da Miniestação data logger para monitoramento e coleta de dados da radiação solar. 1 - Filtro óptico; 2 - Cobertura de acetato; 3 - Microcontrolador master; 4 – Fotodetector; 5 – Fotorresistor; 6 - Sensor de temperatura; 7 - Microcontrolador slave; 8- Conector para memória flash; 9 - Bateria. ....24
- Figura 2** – Frequência de trabalho do fotodetector (linha solida). ....25
- Figura 3** – Transmitância do filtro óptico (linha pontilhada). ....25
- Figura 4** Transmitância da película de acetato (linha pontilhada) utilizada para proteção dos fotodetectores.....26
- Figura 5** – Média de dose acumulada de radiação ultravioleta A ( $\text{kJ/m}^2$ ) de cinco dias, registradas por dt (linha pontilhada), após a conversão de dados, e fix (linha sólida cinza) com intervalos de 1 (A), 10 (B), 30 (C) e 60 minutos (D). ....28
- Figura 6** – Média da dose acumulada de radiação ultravioleta B ( $\text{kJ/m}^2$ ) de cinco dias registrada por dt (linha pontilhada), após a conversão de dados, e fix (linha sólida cinza) com intervalos de 1 (A), 10 (B), 30 (C) e 60 minutos (D). ....29

### CAPITULO 2

- Figura 1.** Mapa da região de estudo, indicando o Parque Estadual do Turvo (linhas transversais) e a área amostral (perímetro vermelho). ....38
- Figura 2.** Equipamentos utilizados. Exemplo ilustrativo de um dos gravadores instalados no sítio de vocalização de *Crossodactylus schmidtii* inserido dentro de um cano de PVC em um ângulo de  $45^\circ$  e direcionado ao centro do riacho (A). Data logger responsável pelo monitoramento da radiação ultravioleta A e B, bem como luminosidade e temperatura do ar. O equipamento está fixado em um tronco por vigas de ferro para evitar o deslocamento acidental (B). ....40
- Figura 3.** Gráfico do levantamento de abundancia. A Figura 3A é um sonograma estéreo onde a parte superior representa o canal de áudio esquerdo e a inferior o canal direito, apresentando o canto de dois machos distintos. A Figura 3B apresenta a distribuição espacial dos machos vocalizantes que foi obtida através da subtração dos canais de áudio (E= esquerda; C= Centro; D=Direita). O canto em ambos os gráficos está marcado por um quadrado de linha sólida para o macho vocalizante A e o tracejada para o macho vocalizante B. ....41
- Figura 4.** Efeitos da radiação UVB acumulada e da temperatura média do ar sobre a probabilidade de emissão dos cantos de machos de *Crossodactylus schmidtii* para o modelo do período do dia inteiro (07:00 às 18:00). A linha espessa no gráfico superior indica um efeito negativo e significativo da UVB acumulada total ( $p = 0,004$ ; A). A linha fina no gráfico inferior indica um efeito negativo e marginalmente significativo da temperatura média do ar ( $p = 0,058$ ; B). ....43
- Figura 5.** “Forest plot” dos modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) realizados para investigar os efeitos da radiação UVA, UVB, temperatura do ar e intensidade da luz na probabilidade de emissão dos cantos de machos de *Crossodactylus schmidtii* para duas janelas temporais: 07:00 às 18:00 (em preto) e das 10:00 às 15:00 (em vermelho). Para o modelo das 07: 00h às 18: 00h, há um efeito negativo significativo do UVB acumulada total e um efeito negativo e marginalmente significativo da temperatura média do ar ( $p = 0,058$ ) na probabilidade de emissão dos cantos. O círculo representa a estimativa do efeito de cada variável. Os traços representam um intervalo de confiança de 95%. ....44
- Figura 6.** Efeitos da UVB acumulada em 15 minutos e do número de machos coespecíficos na duração média dos cantos de machos de *Crossodactylus schmidtii* para o modelo de período das 07:00 às 18:00. As linhas indicam um efeito negativo significativo de UVB acumulada em 15

minutos ( $p = 0,023$ , **A**) e um efeito positivo significativo de número de machos coespecíficos ( $p = 0,013$ , **B**), respectivamente.....45

**Figura 7.** Efeitos da radiação UVB acumulada em 15 minutos, UVB acumulada total e número de machos coespecíficos na duração média dos cantos de machos de *Crossodactylus schmidti* para o modelo de período de 10:00 a 15:00. Nos gráficos, as linhas indicam um efeito negativo e significativo de UVB acumulada em 15 minutos ( $p = 0,04$ , **A**), um efeito positivo e significativo de UVB acumulada total ( $p = 0,02$ , **B**) e um efeito positivo e significativo de número de machos coespecíficos ( $p = 0,04$ , **C**), respectivamente.....46

**Figura 8.** “Forest plot” dos modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) realizados para investigar os efeitos da radiação UVA, UVB, temperatura do ar, intensidade de luz e número de machos coespecíficos na duração média dos cantos emitidos por machos de *Crossodactylus schmidti* para duas janelas temporais 07h00 às 18h00 (em preto) e 10h00 às 15h00 (em vermelho). Para o modelo das 07:00h às 18:00h, há um efeito significativo negativo de UVB acumulada de 15 minutos e um efeito significativo positivo de número de machos coespecíficos. Para o modelo 10:00 - 15:00, há um efeito significativo negativo de UVB acumulada de 15 minutos, um efeito significativo positivo de UVB acumulada total e um efeito significativo positivo de número de machos coespecíficos ( $p = 0,04$ ). O círculo representa a estimativa do efeito de cada variável. Os traços representam um intervalo de confiança de 95%.....47

#### APÊNDICE A

**Figura 1.** Gráficos de diagnósticos e testes para a probabilidade de emissão dos cantos por modelo de variáveis ambientais ajustado, assumindo uma estrutura de erro binomial e função de ligação logit (período 06:00 as 18:00). Figura 1A: O gráfico Q-Q dos resíduos observados vs. esperados e o teste de Kolmogorov-Smirnov em relação a uniformidade mostram um bom ajuste do modelo ( $D = 0,020$ ,  $p = 0,387$ ). Figura 1B: o gráfico dos resíduos padronizados vs. valores previstos mostra a uniformidade dos resíduos. Figura 1C: O teste de dispersão e o histograma de resíduos simulados vs. resíduos observados do modelo ajustado (linha vermelha) não indicam nenhuma sub ou superdispersão nos resíduos (razão de dispersão = 0,986,  $p = 0,408$ ).....53

**Figura 2.** Gráficos de diagnósticos e testes para a probabilidade de emissão dos cantos por modelo de variáveis ambientais ajustado assumindo uma estrutura de erro binomial e função de ligação logit (período 10:00 as 15:00). Figura 2A: o gráfico Q-Q dos resíduos observados vs. esperados e o teste de Kolmogorov-Smirnov em relação a uniformidade mostram um bom ajuste do modelo ( $D = 0,026$ ,  $p = 0,573$ ). Figura 2B: o gráfico dos resíduos padronizados vs. valores previstos mostra a uniformidade dos resíduos. Figura 2C: O teste de dispersão e o histograma de resíduos simulados vs. resíduos observados do modelo ajustado (linha vermelha) não indicam nenhuma sub ou superdispersão nos resíduos (razão de dispersão = 1,001,  $p = 0,776$ ).....54

**Figura 3.** Gráficos de diagnóstico e testes para a duração média da chamada por modelo de variáveis ambientais ajustado assumindo uma estrutura de erro Gaussiana e uma função de link de identidade. Figura 3A: o gráfico Q-Q dos resíduos observados vs. esperados e o teste de Kolmogorov-Smirnov em relação a uniformidade mostram um bom ajuste do modelo ( $D = 0,079$ ,  $p = 0,0001$ ). Figura 3B: o gráfico dos resíduos padronizados vs. valores previstos mostra a uniformidade dos resíduos. Figura 3C: O teste de dispersão e o histograma de resíduos simulados vs. resíduos observados do modelo ajustado (linha vermelha) não indicam nenhuma sub ou superdispersão nos resíduos (razão de dispersão = 1,105,  $p = 0,704$ ). .....55

**Figura 4.** Gráficos de diagnósticos e testes para a probabilidade de emissão dos cantos por modelo de variáveis ambientais ajustado assumindo uma estrutura de erro binomial e função de ligação logit. Figura 4A: o gráfico Q-Q dos resíduos observados vs. esperados e o teste de Kolmogorov-Smirnov em relação a uniformidade mostram um bom ajuste do modelo ( $D = 0,056$ ,  $p = 0,212$ ). Figura 4B: o gráfico dos resíduos padronizados vs. valores previstos mostra

a uniformidade dos resíduos. Figura 4C: O teste de dispersão e o histograma dos resíduos simulados vs. resíduos observados do modelo ajustado (linha vermelha) não indicam nenhuma sub ou superdispersão nos resíduos (razão de dispersão = 1,087,  $p = 0,28$ ). ..... 56

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

**Tabela 1.** Resultados de correlação (R) para os comparativos entre UVA Data logger (dt) × Fixo (fix) e UVB Data logger (dt) × Fixo (fix). Todos os valores possuem  $p < 0,01$ .....28

### APÊNDICE B

**Tabela 1** - Resumo dos modelos mistos lineares generalizados (GLMMs) realizados para investigar os efeitos da radiação UVA, UVB, temperatura do ar e luminosidade, sobre a probabilidade de emissão da vocalização dos machos de *Crossodactylus schmidti* para dois períodos: 07:00 às 18:00 e 10:00 às 15:00. Os resultados dos efeitos fixos são apresentados como estimativa média, erro padrão (SE), valor de z e valor de p. Também apresentamos a variância e o desvio padrão (SD) dos efeitos aleatórios, que representa o quanto da variância nos dados é explicada pela variação entre locais, dias e hora do monitoramento da atividade de vocalização. Os valores p em negrito indicam um efeito significativo, e os valores p em itálico indicam um efeito marginalmente significativo. ....57

**Tabela 2** – Resumo dos modelos mistos lineares generalizados (GLMMs) realizados para investigar os efeitos da radiação UVA, UVB, temperatura do ar e luminosidade e número de machos coespecíficos na duração média dos cantos emitidos por machos de *Crossodactylus schmidti* para dois períodos: 07:00 às 18:00, e 10:00 às 15:00. Os resultados dos efeitos fixos são apresentados como estimativa média, erro padrão (SE), valor de z e valor de p. Também apresentamos a variância e o desvio padrão (SD) dos efeitos aleatórios, o que representa o quanto da variância nos dados é explicada pela variação entre locais, dias e hora do monitoramento da atividade de vocalização. Os valores p em negrito indicam um efeito significativo. ....58

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**RUV** – Radiação ultravioleta

**UVC** – Radiação ultravioleta C

**UVB** – Radiação ultravioleta B

**UVA** - Radiação ultravioleta A

**UFMS** – Universidade Federal de Santa Maria

**AGITEC** – Agência de Inovação e Transferência de Tecnologia

**WIPO** - World Intellectual Property Organization

**INPI** - Instituto Nacional De Propriedade Industrial

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	19
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>Miniestação móvel para monitoramento e coleta de dados da radiação solar (UVB, UVA e visível) e seus usos</b> .....	21
<b>RESUMO</b> .....	21
<b>ABSTRACT</b> .....	22
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	22
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
Construção do equipamento .....	23
Calibração do equipamento e validação do seu uso .....	27
Busca por anterioridades .....	27
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	32
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>Influência da radiação ultravioleta sobre a atividade de vocalização de <i>Crossodactylus schmidtii</i> (anura: hylodidae)</b> .....	34
<b>RESUMO</b> .....	34
<b>ABSTRACT</b> .....	035
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	35
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	37
Área de estudo .....	37
Coleta de dados.....	39
Tratamento de dados.....	40
Análise Estatística .....	42
<b>RESULTADO</b> .....	43
<b>DISCUSSÃO</b> .....	47
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	49
<b>REFERÊNCIA</b> .....	49
<b>APÊNDICE A</b> .....	53
<b>APÊNDICE B – Resumo dos modelos mistos generalizados (glmms)</b> .....	57
<b>CONCLUSÕES FINAIS</b> .....	59



## INTRODUÇÃO

A luz solar é considerada uma fonte energética essencial para os ecossistemas, e como radiação eletromagnética, pode ser dividida pelos seus comprimentos de onda em infravermelho, luz visível e radiação ultravioleta (RUV) (LEITE PRADO 2012), sendo a última subdividida em radiação ultravioleta C (UVC; 100-280nm), B (UVB; 280-315nm) e A (UVA; 380-400nm) (TOBISKA; NUSINOV, 2005). Em relação à RUV, apenas os comprimentos de onda de UVA e parte dos de UVB incidem sobre os ambientes terrestres, sendo os menores comprimentos de onda de UVB, e toda a faixa de UVC, absorvidos pelo oxigênio e ozônio presentes na atmosfera. A RUV é essencial para a manutenção da vida nos ecossistemas terrestres e por consequência, para a saúde humana, pois exerce papel primordial na produção de vitamina D, por meio da exposição à radiação UVB, vitamina essa que é importante na absorção de cálcio pelo organismo (XUE; FLEET 2009; HOHMAN et al., 2011).

Apesar de ser benéfica, em doses elevadas a RUV também possui efeitos genotóxicos (SCHUCH et al., 2015) que podem gerar diversas alterações cromossômicas e fixação de mutações (YAGURA et al., 2017), assim como morte celular (SCHUCH et al., 2017). Os malefícios da RUV tornam-se mais frequentes devido a sua maior incidência sobre os ecossistemas terrestres, aumento este causado pela redução dos níveis de ozônio atmosférico que é acelerada por atividades antrópicas (BAIS et al., 2018). Somado a isto, a degradação dos ambientes naturais altera substancialmente a proteção fornecida pela vegetação às populações e comunidades (MOONEY et al., 2005), aumentando a quantidade de RUV incidente nos ambientes (ROCHA et al., 2020; LIPINSKI et al., 2016).

O efeito genotóxico da RUV age sobre a distribuição e manutenção de espécies (BLAUSTEIN et al., 2000), o que aumenta a necessidade de se ampliar o conhecimento sobre o modo com que ela incide no ambiente e o efeito que possui sobre a biodiversidade (ZHANG et al., 2019; KATS et al., 2012). Além disto, os efeitos da RUV afetam também outros setores, na produção agrícola a alta incidência de UVB gera alterações estruturais nas folhas e reduz a taxa de crescimento de diversos cultivares (CHEN et al., 2020). Na saúde, a radiação ultravioleta está vinculada a diversas doenças causadas por insuficiência de vitamina D (HOHMAN et al., 2011) e desenvolvimento de câncer de pele (MOAN et al., 2015), sendo esse o tipo mais frequente (DIEPGEN; MAHLER 2002).

O monitoramento da RUV é uma tarefa difícil, que implica em altos custos, mão de obra especializada, além de gerar dificuldades técnicas para a realização de uma amostragem contínua e precisa. Grande parte dos equipamentos existentes no mercado são compostos por

dois sistemas, um para o processamento dos dados com uma interface gráfica, que informa os valores medidos e o outro consiste em uma sonda equipada com um sensor de espectro específico (魏, 2018). Isto torna obrigatória a presença de um técnico no momento do monitoramento para coleta dos dados, tendo em vista que os equipamentos mostram apenas a informação em modo gráfico sem realizar o armazenamento dos dados. Adicionalmente, um técnico se faz necessário também para realizar a substituição do sensor, caso seja necessário realizar o monitoramento de mais de um espectro.

A dificuldade de mensurar e monitorar a RUV com os equipamentos atuais acaba impedindo avanços maiores em relação ao estudo dos efeitos desta radiação sobre comunidades, principalmente em regiões isoladas dos centros urbanos. Mesmo assim, atualmente, avanços têm sido alcançados para elucidar o papel da RUV sobre as comunidades, principalmente sobre grupos sensíveis a alterações ambientais como anfíbios. Devido à alta permeabilidade de seu tegumento os anfíbios são sensíveis a variações ambientais, e quando expostos a RUV podem sofrer de modificações genéticas, celulares e morfológicas (SCHUCH et al., 2015). Estudos mostraram também que a RUV possui potencial para alterar o comportamento de algumas espécies de anfíbios (HAN et al., 2007), como a seleção de sítios de vocalização com menor incidência (KATS et al., 2012), redução na capacidade antipredatória (KATS et al., 2000) e de alimentação (LONDERO et al., 2017). No entanto, devido ao alto custo dos equipamentos e as suas limitações para a tomada contínua de dados, a maioria dos trabalhos relacionados à ecologia de populações e RUV contam com medidas esporádicas em campo. Consequentemente, este design experimental impossibilita avaliar o impacto da RUV em períodos maiores, dificultando a elucidação do real efeito da radiação solar sobre as populações e comunidades.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivos: 1) desenvolver um equipamento, com baixo custo de produção, que seja capaz de monitorar e registrar a incidência da radiação ultravioleta A e B de forma precisa e contínua; 2) Verificar a influência da radiação ultravioleta A e B sobre a atividade de vocalização de anuros diurnos de riacho. Assim, a presente Dissertação foi dividida em dois capítulos, a saber:

Capítulo 1: Trata sobre o processo nº 00494-PI/2020 de pedido de depósito de patente junto à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), gerido pela Agência de Inovação e Transferência de Tecnologia (AGITTEC). Nele é descrito o desenvolvimento de um equipamento capaz de realizar o monitoramento contínuo e preciso da radiação ultravioleta A e B, temperatura ambiente e luminosidade.

Capítulo 2: Trata sobre a verificação da influência da radiação ultravioleta solar sobre a atividade de canto de *Crossodactylus schmidti*, por meio do monitoramento de seu canto utilizando de gravadores de áudio e da radiação UV solar com o uso do equipamento apresentado no primeiro capítulo.

## REFERÊNCIAS

BAIS, A. F. et al., Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017 **Photochemical and Photobiological Sciences**, 2018. DOI: 10.1039/c7pp90043k.

BLAUSTEIN, Andrew R; BELDEN, L. K. Amphibian defenses against UV-B radiation. **Evolution & Development**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 89–97, 2003.

CHEN, Z. et al., Ultraviolet (UV) B effects on growth and yield of three contrasting sweet potato cultivars. **Photosynthetica**, [S. l.], v. 58, n. 1, p. 37–44, 2020. DOI: 10.32615/ps.2019.137.

DIEPGEN, T.L.; MAHLER, V. The epidemiology of skin cancer. **Non-Surgical Treatment of Keratinocyte Skin Cancer**, [S. l.], v. 146, p. 15–24, 2010. DOI: 10.1007/978-3-540-79341-0\_3.

HAN, Barbara A. et al., Behavioral avoidance of ultraviolet-B radiation by two species of neotropical poison-dart frogs. **Biotropica**, [S. l.], v. 39, n. 3, p. 433–435, 2007. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2007.00268.x.

HOHMAN, Emily E. et al., Bioavailability and efficacy of vitamin D2 from UV-irradiated yeast in growing, vitamin D-deficient rats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 59, n. 6, p. 2341–2346, 2011. DOI: 10.1021/jf104679c.

KATS, Lee B. et al., Effects of UV-B radiation on anti-predator behavior in three species of amphibians. **Ethology**, [S. l.], v. 106, n. 10, p. 921–931, 2000. DOI: 10.1046/j.1439-0310.2000.00608.x.

KATS, Lee B. et al., Ultraviolet Radiation Influences Perch Selection by a Neotropical Poison-Dart Frog. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 7, n. 12, p. 3–7, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0051364.

LEITE, Diego O.; PRADO, Rogério J. Espectroscopia no infravermelho: Uma apresentação para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 34, n. 2, 2012. DOI: 10.1590/s1806-11172012000200015.

LIPINSKI, Victor M; SANTOS, Tiago G; SCHUCH, André P. An UV-sensitive anuran species as an indicator of environmental quality of the Southern Atlantic Rainforest. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S. l.], v. 165, p. 174–181, 2016. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2016.10.025.

LONDERO, James E. L.. et al., Impacts of UVB radiation on food consumption of forest specialist tadpoles. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 143, n. May, p. 12–18, 2017. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.05.002.

MOAN, Johan. et al., The relationship between UV exposure and incidence of skin cancer. **Photodermatology Photoimmunology and Photomedicine**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 26–35, 2015. DOI: 10.1111/phpp.12139.

MOONEY, Harold; CROPPER, Angela; REID, Walter. Confronting the human dilemma. **Nature**, [S. l.], v. 434, n. 7033, p. 561–562, 2005. DOI: 10.1038/434561a.

ROCHA, Marcelo C.. et al., Preserved riparian forest protects endangered forest-specialists amphibian species against the genotoxic impact of sunlight and agrochemicals. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 249, n. April, p. 108746, 2020. DOI: 10.1016/j.biocon.2020.108746.

SCHUCH, André P. et al., Identification of influential events concerning the Antarctic ozone hole over southern Brazil and the biological effects induced by UVB and UVA radiation in an endemic treefrog species. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 118, p. 190–198, 2015. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.04.029.

SCHUCH, André P. et al., Sunlight damage to cellular DNA: Focus on oxidatively generated lesions. **Free Radical Biology and Medicine**, [S. l.], v. 107, p. 110–124, 2017. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.01.029.

TOBISKA, W. Kent.; NUSINOV, Anatoliy. A. Status of ISO draft international standard for determining solar irradiances (DIS 21348). **Advances in Space Research**, [S. l.], n. Cd 21348, p. 1–6, 2005.

XUE, Yingben; FLEET, James C. Intestinal Vitamin D Receptor Is Required for Normal Calcium and Bone Metabolism in Mice. **Gastroenterology**, [S. l.], v. 136, n. 4, p. 1317- 1327.e2, 2009. DOI: 10.1053/j.gastro.2008.12.051.

YAGURA, Teiti et al., Direct participation of DNA in the formation of singlet oxygen and base damage under UVA irradiation. **Free Radical Biology and Medicine**, [S. l.], v. 108, n. March, p. 86–93, 2017. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.03.018.

ZHANG, Rutao. et al., Effects of elevated ultraviolet-B radiation on root growth and chemical signaling molecules in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 171, n. July 2018, p. 683–690, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.01.035.

魏, 颜巍. A kind of high-precision ultraviolet radiation lumeter. CN n. **CN109540287A**. Depósito: 19 Nov. 2018.

## CAPÍTULO 1

### **Miniestação móvel para monitoramento e coleta de dados da radiação solar (UVB, UVA e visível) e seus usos.**

Álvaro Augusto Mainardi<sup>a</sup>, Maurício Beux dos Santos<sup>b</sup>, André Passaglia Schuch<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Animal, Santa Maria, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica, Santa Maria, Brasil.

#### **RESUMO**

A radiação ultravioleta (RUV), apesar de essencial para a manutenção da vida na terra, pode acarretar efeitos negativos para a saúde humana, biodiversidade e economia. Isso torna o monitoramento e registro das doses de radiação incidentes algo essencial para a tomada de decisões. Infelizmente, a grande maioria dos equipamentos existentes no mercado para o monitoramento da radiação UV são de alto custo e pouca praticidade, registrando parcialmente os dados de radiação incidente ou necessitando de um grande suporte tecnológico para o funcionamento. Perante a isso, o presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um equipamento capaz de sanar as necessidades de monitoramento da radiação ultravioleta solar com autonomia de funcionamento. O equipamento desenvolvido é controlado por microprocessadores e possui um conjunto de sensores capazes de registrar a radiação ultravioleta A, B, luz visível e temperatura ambiente, além de ser independente de rede elétrica e não necessitar de pessoal técnico treinado para a sua manutenção e funcionamento. Nosso equipamento foi classificado como de interesse nacional e internacional e possui potencial para alcançar diversos setores econômicos como agricultura, serviços de tecnologia da informação, desenvolvimento científico e de atenção à saúde humana. Após realizados todos os testes de funcionamento e comparativos com equipamentos já existentes no mercado e utilizados pela comunidade científica internacional, o pedido de depósito de patente encontra-se protocolado na Agência de Inovação e Transferência de Tecnologia (Agittec) da UFSM (processo nº 00494-PI/2020).

**Palavras chave:** Desenvolvimento tecnológico, radiômetro, radiação ultravioleta, data logger.

## ABSTRACT

Ultraviolet radiation (UVR), although essential for maintaining life on earth, can have negative effects on human health, biodiversity and the economy. This makes monitoring and recording incident radiation doses essential for decision making. Unfortunately, the vast majority of the existing equipment on the market for monitoring UV radiation is of high cost and little practicality, partially recording the incident radiation data or requiring a great technological support for the operation. In view of this, the present work aimed to develop an equipment capable of solving the needs for monitoring solar ultraviolet radiation with autonomy of operation. The developed equipment is controlled by microprocessors and has a set of sensors capable of recording ultraviolet radiation A, B, visible light and ambient temperature, in addition to being independent of the electrical network and not requiring trained technical personnel for its maintenance and operation. Our equipment has been classified as of national and international interest and has the potential to reach several economic sectors such as agriculture, information technology services, scientific development and attention to human health. After carrying out all the functional and comparative tests with equipment already on the market and used by the international scientific community, the patent application is filed at the Innovation and Technology Transfer Agency (Agittec) at UFSM (process nº 00494- PI / 2020).

Keywords: Technological development, radiometer, ultraviolet radiation, data logger.

## INTRODUÇÃO

A radiação ultravioleta (RUV) é essencial para a manutenção da vida nos ecossistemas terrestres. Porém, em altas doses, possui efeito negativo e afeta diversos grupos de seres vivos (KATS et al., 2000, ZHANG et al., 2019). Mensurar e monitorar a RUV incidente na superfície representa um interesse para diversos setores. Os efeitos da radiação ultravioleta possuem importância econômica na agricultura, por exemplo, por causar alterações na estrutura das folhas bem como no crescimento da cultivar (CHEN et al., 2020). Os efeitos da RUV estão ligados, também, à saúde já que a exposição prolongada está relacionada diretamente ao desenvolvimento de câncer de pele (MOAN et al., 2015), sendo este o tipo mais comum de câncer no mundo (DIEPGEN; MAHLER 2010). Além disso, pode-se perceber a importância da RUV em situações como a encontrada na pandemia da COVID-19, onde a sua utilização recebe destaque na desinfecção de respiradores (HAMZAVI et al., 2020), ambientes e equipamentos de segurança (CARD et al., 2020). Em contraponto, ainda existe um número pequeno de trabalhos sobre os efeitos ecológicos da RUV, mesmo sabendo que ela pode alterar a dinâmica de populações através de danos moleculares e alterações comportamentais (BLAUSTEIN et al., 2000). Parte desse problema pode ser explicado devido ao alto custo e baixa praticidade dos equipamentos de monitoramento da RUV existentes no mercado.

Tendo em vista a importância biológica e econômica da RUV, torna-se indispensável o monitoramento contínuo e amplo de sua incidência. Porém, devido ao alto custo de

equipamentos responsáveis por realizar este monitoramento, aliado a problemas técnicos detectados nos equipamentos presentes no mercado, isto acaba se tornando uma tarefa difícil. Em grande parte, os equipamentos de monitoramento da RUV que são capazes de realizar o monitoramento contínuo de sua incidência são, na verdade, estações fixas instaladas em locais específicos, o que gera informações restritas às regiões que estes se encontram (BOPOBEEI et al., 2011). Já aqueles que são capazes de realizar o monitoramento de forma portátil, tornam-se limitados por não possuírem autonomia na tomada de medida e trabalharem com armazenamento temporário dos dados coletados (SALGADO et al., 2008). Adicionalmente, estes equipamentos realizam, normalmente, a medição de apenas um espectro a cada tomada de dados, com o uso de sondas equipadas com o sensor de interesse, ocasionando uma baixa padronização dos dados coletados por não corresponderem ao mesmo intervalo de tempo (魏, 2018).

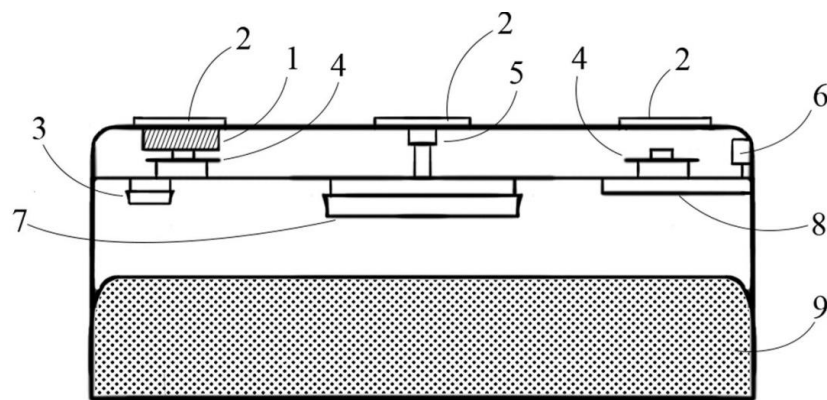
Para podermos compreender o real papel da RUV sobre os organismos terrestres, torna-se necessário um equipamento capaz de realizar o monitoramento móvel e o armazenamento de dados, em ampla escala, da incidência de radiação solar (ultravioleta B, A e luz visível). Esse equipamento deve possibilitar a instalação em diferentes tipos de ambientes e latitudes, permitindo uma maior compreensão de como a RUV incidente afeta a saúde da população humana, agricultura e biodiversidade, além de inúmeras outras áreas que são afetadas direta ou indiretamente pelos seus efeitos. Assim, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e registro de depósito do pedido de patente de um equipamento que seja capaz de realizar a coleta de dados referentes a radiação UVB, UVA, luz visível e temperatura do ar de forma simultânea e ininterrupta em um único equipamento, armazenando essas informações em sua memória. Este equipamento deve ser independente de rede elétrica, de computador para o armazenamento dos dados coletados ou de manuseio técnico para a realização das medidas ambientais. Não obstante, o equipamento deverá apresentar o menor custo de produção final possível, o que tornará viável a confecção de várias unidades para realizar o monitoramento da incidência da radiação solar em localidades distintas ao mesmo tempo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Construção do equipamento**

Para o registro de parâmetros abióticos, foi desenvolvido uma Miniestação *data logger* (*dt*) utilizando um microcontrolador (atmega328p; Atmel; Figura 1-7), que foi selecionado por possuir comunicação analógica necessária para leitura dos sensores e arquitetura de 8 bits para

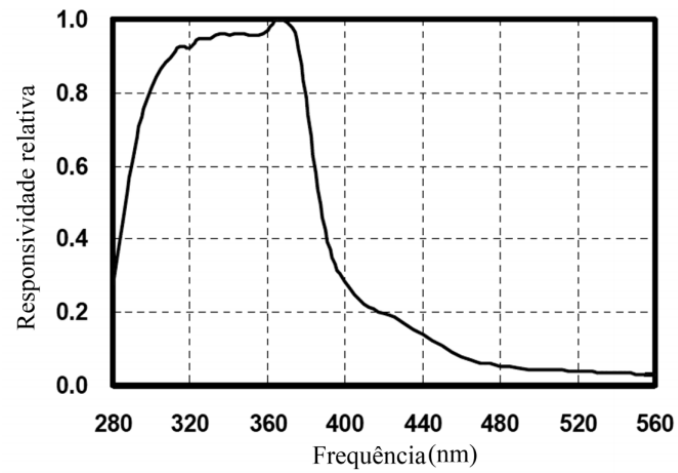
processamento de dados. Para evitar perdas de informação, foi determinado um *clock* mínimo de funcionamento do microcontrolador de 16MHz, com cristal oscilador de mesmo valor acompanhado de dois capacitores cerâmicos com capacitância de 22pF e tensão de 50v. Foi utilizado um segundo microcontrolador (attyni85; Atmel; Figura 1-3) com arquitetura de 8 bits e *clock* de 1 MHz, utilizando o cristal oscilador interno ao circuito integrado em conjunto a um transistor NPN (BC548; Motorola Semicondutor), que é responsável por determinar o período de funcionamento do equipamento (06:00-19:00) através da liberação do terminal negativo da alimentação para o sistema de sensoriamento.



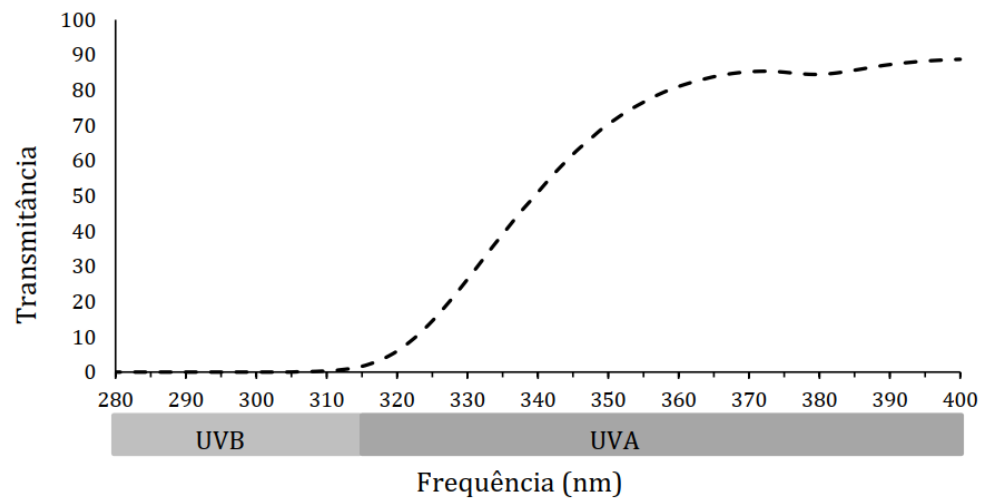
**Figura 1**– Croqui da Miniestação data logger para monitoramento e coleta de dados da radiação solar. 1 - Filtro óptico; 2 - Cobertura de acetato; 3 - Microcontrolador master; 4 – Fotodetector; 5 – Fotoresistor; 6 - Sensor de temperatura; 7 - Microcontrolador slave; 8- Conector para memória flash; 9 - Bateria.

Para captação do espectro de UV, foi utilizado um fotodiodo (ml8511; Lapis Semicondutor; Figura 1.4) com resposta entre 280 e 560 nm (Figura 2). O monitoramento dos comprimentos de onda correspondentes a banda de UVA foi realizado com o uso de um filtro vítreo a base de sílica (Figura 1.1) com espessura de 3 mm e alta transmitância, que bloqueia a passagem dos comprimentos de onda de UVB (Figura 3). A captação dos comprimentos de onda do espectro de UVB foi realizada por um segundo fotodiodo (ml8511; Lapis Semicondutor), sem uso do filtro de sílica, de onde foram subtraídos quaisquer valores referentes à banda UVA. Para proteção e isolamento dos sensores, de modo a evitar qualquer dano externo, foi adicionada uma película de acetato (Figura 1.2) com espessura de 0.5 mm e alta transmitância (Figura 4).

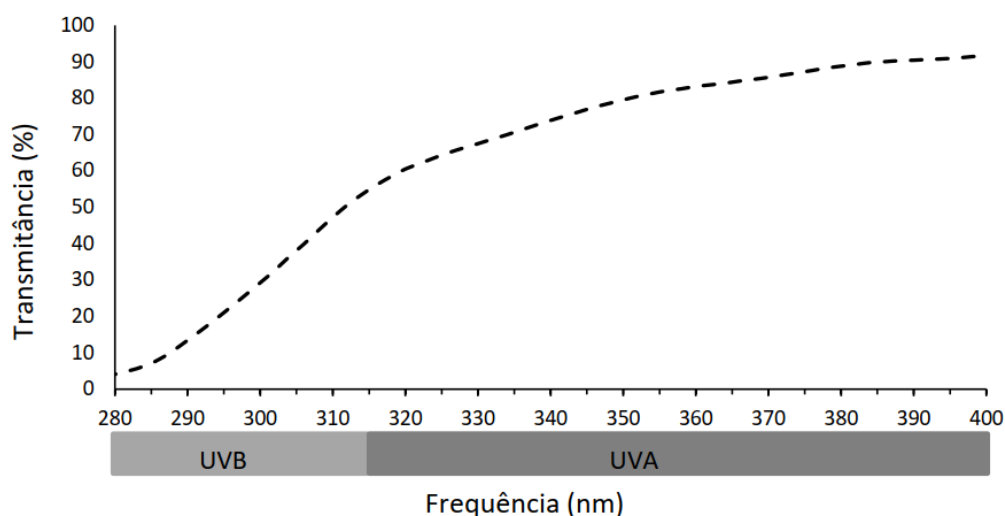




**Figura 2** – Frequência de trabalho do fotodetector (linha sólida).



**Figura 3** – Transmissão do filtro óptico (linha pontilhada).



**Figura 4** Transmitância da película de acetato (linha pontilhada) utilizada para proteção dos fotodetectores.

Também foi adicionado ao *dt* um fotoresistor para mensurar a intensidade de luz visível (Figura 1.5), assim como um sensor de temperatura (lm35; Texas Instruments; Figura 1.6) com faixa de medição entre -55 e 150 °C e precisão de 0.5 °C. Para registro de data e hora no *dt* foi adicionado um circuito de *real time clock* (RTC 1302 Maxim Integrated) junto a um cristal oscilador de 32768 kHz e uma bateria auxiliar (CR2032) para alimentar o RTC mesmo quando o *dt* estiver desligado, mantendo a informação de data e hora atualizada. Os dados coletados pelo sensor são armazenados em um cartão de memória no padrão universal (SD Card; Figura 1.8), que se encontra instalado em um módulo de leitura e gravação incluso no sistema. A alimentação foi feita através de dois pacotes de baterias (9.9v; 1200mAh) ligados em paralelo, compostos por três células de lítio (3.3v; 1200mAh) ligadas em série, totalizando 9.9v com 2400mAh (Figura 1.9), o que fornece ao equipamento uma autonomia de aproximadamente 30 dias.

A placa de circuito impresso foi projetada utilizando o software livre Fritzing v0.9.4 (Fritzing Team) e posteriormente impressa em placa de fenolite cobreada através do método fotográfico. Brevemente, este método consiste na pigmentação da placa com tinta sensível a UV, posteriormente esta foi levada a uma estufa de secagem a 40°C por 15 minutos e então exposta a uma lâmpada de luz negra (UVA) por 5 minutos com um escudo vazado com o desenho do circuito impresso. Após o processo de cura, a placa foi lavada em solução básica, e então submersa por um período de 15 minutos em uma solução líquida de percloroato de ferro para remover todo o cobre exposto, mantendo apenas o circuito. Os componentes eletrônicos foram soldados na placa utilizando estanho e esta foi posicionada em uma carcaça feita em

policloreto de vinila (PVC) de modo a manter o circuito elétrico impermeável e isolado do meio externo.

### **Calibração do equipamento e validação do seu uso**

Para calibração e determinação do tempo das medidas e do modo de leitura do *dt* nos baseamos no funcionamento dos radiômetros comerciais de UVB e UVA (EKO Instruments, Japão), instalados no Laboratório de Fotobiologia da UFSM. Desta forma, os dados obtidos pelo *dt* foram, primeiramente, ajustados considerando o nível basal, ou seja, os valores retornados pelo sensor adquiridos em medidas noturnas (sem a presença de radiação UV). Após a exclusão do nível basal, foi obtido um fator de correção com base no somatório diário de dados coletados, tanto do radiômetro fixo da EKO Instruments (*fix*) quanto do *dt*. Assim, o somatório do dia adquirido no *fix* (kJ/m<sup>2</sup>) foi dividido pelo somatório do dia do *dt* (valores analógicos de 0 a 1023). Isso forneceu o fator de correção aplicado para corrigir os dados coletados pelo *dt* (obtidos a cada 5 segundos), tendo como base os dados obtidos pelo *fix*. A validação do uso do equipamento foi feita a partir de correlação de Spearman (ZAR, 1999) dos dados obtidos pelo *dt* e *fix* para diferentes doses de UV monitoradas por um período de cinco dias, em diferentes intervalos de tempo (1, 10, 30 e 60 minutos).

### **Busca por anterioridades**

Para realização do pedido de depósito de patente foi necessário efetuar uma busca de anterioridades, a qual foi realizada utilizando o sistema de busca de patentes Orbit v 1.9.8 (Questel) disponibilizado pela Agência de Inovação e Transferência de Tecnologia (AGITTEC) da UFSM, assim como com o uso do sistema do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). A busca foi realizada em 28/08/2019, utilizando palavras chaves: Ultravioleta; Radiômetro; Ultraviolet; Mensurment; Data logger. Após a análise e comparativo das anterioridades, foi feito a abertura do pedido de depósito de patente junto à AGITTEC.

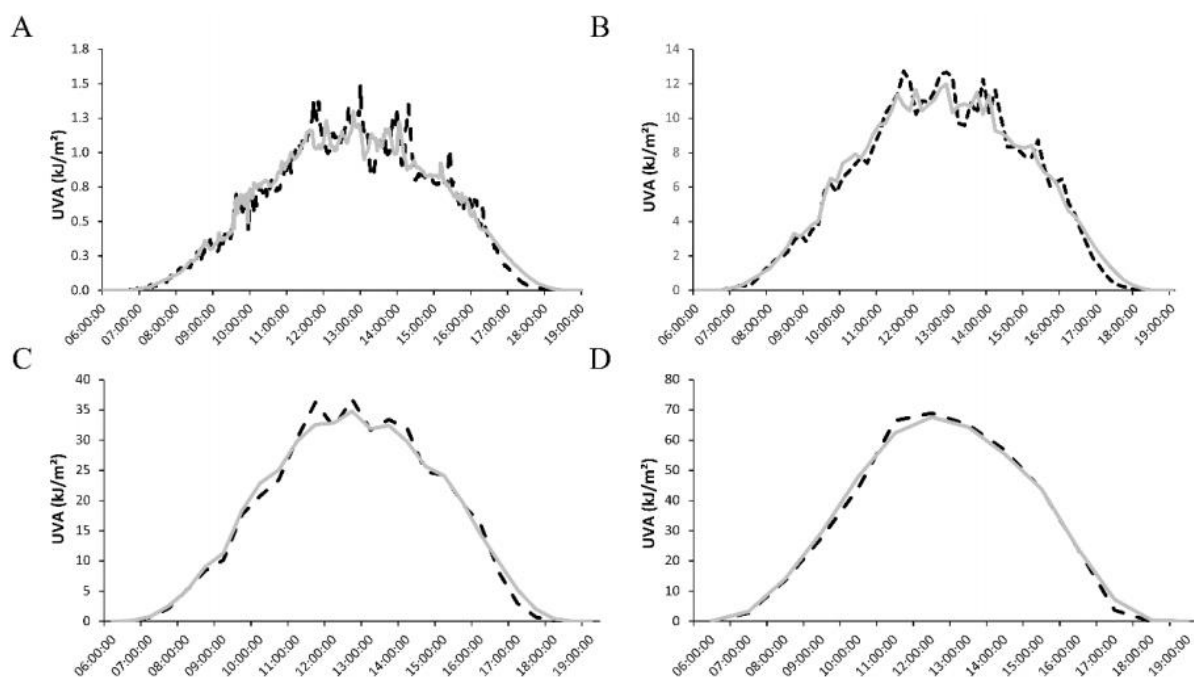
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados coletados pelo *dt* mostraram correlação positiva com os dados do equipamento *fix* para todas as doses testadas (Tabela 1), o que mostra a eficiência do equipamento desenvolvido quando comparado com equipamento comercial conhecido e aceito pela comunidade acadêmica. Os dados de correlação mostraram uma relação média de 94,33% para os dados de UVA (Figura 5) e de 91% nos dados de UVB (Figura 6). Como ambos os equipamentos possuem os mesmos princípios de funcionamento, convertem a radiação ambiente em corrente elétrica,

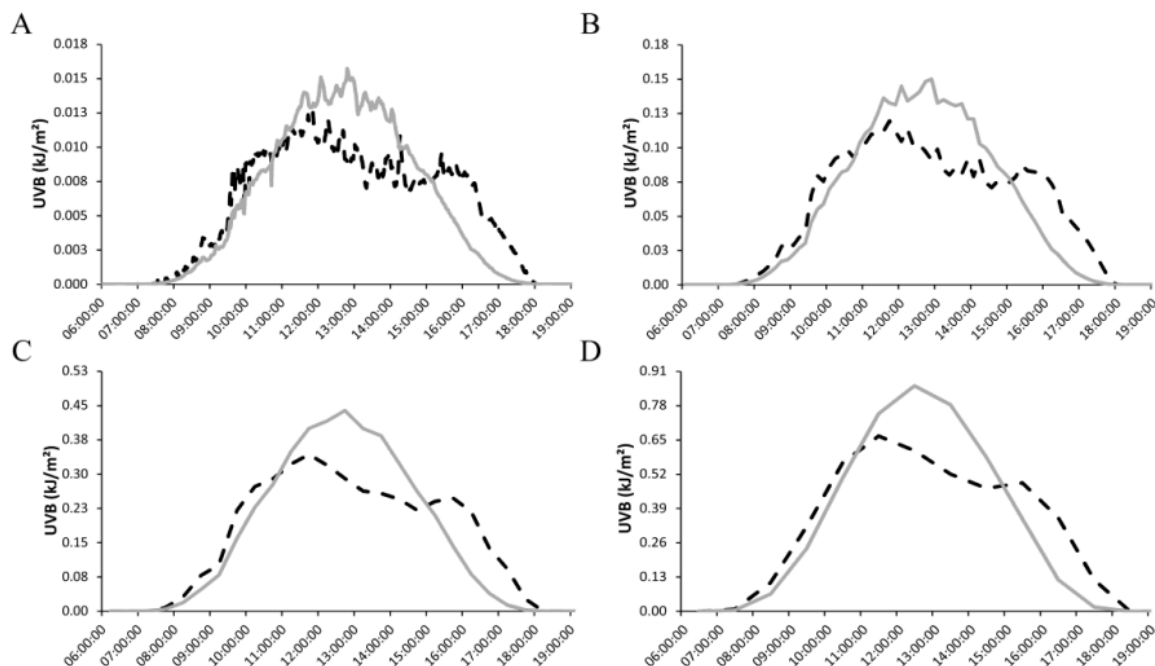
estes resultados demonstram a confiabilidade em relação a acurácia dos dados coletados pelo *dt*.

**Tabela 1.** Resultados de correlação (R) para os comparativos entre UVA Data logger (*dt*) × Fixo (*fix*) e UVB Data logger (*dt*) × Fixo (*fix*). Todos os valores possuem  $p < 0,01$ .

Parâmetro/minutos	1	10	30	60
UVA Data logger × Fixo	0,925582	0,940655	0,953560	0,953403
UVB Data logger × Fixo	0,895769	0,901397	0,912781	0,930501



**Figura 5** – Média de dose acumulada de radiação ultravioleta A ( $\text{kJ/m}^2$ ) de cinco dias, registradas por *dt* (linha pontilhada), após a conversão de dados, e *fix* (linha sólida cinza) com intervalos de 1 (A), 10 (B), 30 (C) e 60 minutos (D).



**Figura 6** – Média da dose acumulada de radiação ultravioleta B ( $\text{kJ/m}^2$ ) de cinco dias registrada por *dt* (linha pontilhada), após a conversão de dados, e *fix* (linha sólida cinza) com intervalos de 1 (A), 10 (B), 30 (C) e 60 minutos (D).

A inserção de mais de dois sensores capazes de medir os diferentes espectros de luz permitiu incluir o equipamento construído em duas categorias distintas, segundo a classificação internacional de patentes (WIPO), sendo: G01J – “Medição de intensidade, velocidade, conteúdo espectral, polarização, características de fase ou pulso de luz infra-vermelha, visível ou ultra-violeta; colorimetria; pirometria de radiação”; e G01D – “Medição não adaptada especialmente para uma variável específica; disposições para medir duas ou mais variáveis não cobertas por uma única subclasse”.

O número de sensores e a capacidade de armazenamento de dados do *dt*, juntamente com a autonomia do sistema, tornam o nosso equipamento distinto dos demais já registrados e serve como parâmetro para o comparativo de anterioridades exigido para o depósito de patente. Assim, a partir da busca de anterioridades, foram localizados cerca de 14.000 documentos de patentes, dos quais foram excluídos aqueles que não estavam ativos e que não possuíam depósito em países de interesse. Posteriormente, foram selecionados todos aqueles depositados no Brasil e alguns países de interesse que possuíam princípios semelhantes aos do *dt*, resultando em um total de 362 documentos. Cada patente foi analisada minuciosamente para a seleção dos cinco registros de patentes mais similares as funcionalidades apresentadas pelo *dt*. Com base

nesses documentos foi realizado um comparativo direto e apontada as principais limitações de cada uma das anterioridades que foram resolvidos pelo *dt*:

Registro nº W09951950 (CAIN et al., 1999) – Descreve um radiômetro ultravioleta que inclui um equipamento formado por dois sistemas, um para coleta de dados e outro para leitura de dados. Após a coleta é realizada a ligação por meio de cabos entre os sistemas para que seja feita a leitura. Após a leitura, os dados são apagados limpando a memória do equipamento e assim sendo possível realizar novas medidas. Diferente desse equipamento já registrado, nosso equipamento é composto por apenas um sistema que realiza a leitura através de dois sensores e conversão dos dados obtidos para valores referentes a dose de radiação ultravioleta no padrão do sistema internacional de unidades. Os dados são gravados automaticamente em formato de texto universal para que possam ser analisados posteriormente em qualquer equipamento de texto ou software estatístico. Além disso, caso necessário, o local de armazenamento do dispositivo pode ser substituído sem a necessidade de apagar os dados para fazer a próxima coleta de dados.

Registro nº *MX2014012176* (SALGADO et al., 2008) - Radiômetro que compreende uma entrada para valores medidos de radiação ultravioleta, com meios de conversão e amplificação, que transmite os dados para uma interface gráfica. Diferente desse equipamento já registrado, nosso equipamento possui duas entradas para medição com maior acurácia da radiação ultravioleta, sendo uma entrada para medição do espectro de radiação ultravioleta A e uma para o espectro de radiação ultravioleta B, junto com a utilização de filtros ópticos específicos para a separação de cada espectro citado acima. Adicionalmente, os dados coletados pelo equipamento são armazenados em arquivo de texto universal para que possam ser analisados por diversos equipamentos de leitura através de um dispositivo de memória comercial SD (Secure Digital Card).

Registro nº US5008548 (GAT, 1991) - Radiômetro miniaturizado de espectro generalizado sem distinção de radiação ultravioleta A de B, alimentado por baterias, é apropriado para o uso pessoal, informa valor de dosagem máxima e tempo de exposição ao usuário. Diferente desse equipamento já registrado, nosso equipamento realiza medidas em tempo real e disponibiliza estes dados ao usuário em forma de texto, possui função para uso pessoal, profissional e acadêmico devido à combinação de sensores e filtros utilizado no seu desenvolvimento. Adicionalmente, distingue os espectros de radiação ultravioleta A de B, dando informação de dosagem para cada um deles.

Registro nº *CN109540287* (巍, 2018) - Radiômetro composto de uma plataforma de controle e uma sonda onde fica localizado o sensor de radiação ultravioleta, que é ligada ao controlador por um fio, de forma a fixar o controlador e o sensor. Depende de um técnico para realizar a tomada de dados por meio de ajustes no controlador. Diferente desse equipamento já registrado, nosso equipamento possui dois sensores, um para o espectro ultravioleta A e outro para o ultravioleta B. Nossos sensores são embutidos diretamente no corpo do radiômetro o que garante uma maior resistência e redução no tamanho do equipamento. Em adição, nosso equipamento também é dotado de um microcontrolador que comanda todas as funções, o que torna dispensável a presença de um técnico para o seu devido funcionamento, juntamente com o baixo consumo de energia e a utilização de baterias, o que torna possível a coleta de dados em ambientes isolados.

Registro nº *UA82801* (BOPOBEIÇ et al., 2011) - radiômetro de radiação ultravioleta, compreendido por dois fotossensores e uma combinação de filtros controlados por um microcontrolador, com interface de comunicação USB para comunicação com um computador. Também inclui um software especializado para controle, sincronização e processamento dos dados de radiação coletados. Diferente desse equipamento já registrado, nosso equipamento possui um microcontrolador que realiza o controle de suas funções e processamento dos dados, assim como a gravação e geração do relatório de dosagem, o que dispensa a utilização de um computador para seu funcionamento. Junto ao baixo consumo energético e a utilização de baterias, nosso dispositivo torna-se móvel, possibilitando a utilização em diversos locais, inclusive aqueles que não possuem rede elétrica. Adicional a isto, os dados coletados são convertidos automaticamente para valores referentes à dose de radiação ultravioleta no padrão do sistema internacional de unidades e armazenados em formato de texto universal o que permite a leitura em diversos equipamentos sem necessidade de um programa especializado para leitura e conversão de dados.

Além da pertinência da invenção no contexto científico, o *dt* pode atender a demanda de mercado e ser útil à diversos setores de produção existentes. As empresas que podem ter interesse em conhecer e ou licenciar a tecnologia foram primeiramente identificadas na busca de anterioridade. Essas empresas possuem projetos e patentes ligados, em algum ponto, a tecnologia desenvolvida por nós, abrangendo áreas como monitoramento ambiental, sensoriamento e tecnologia médica. Assim, como potenciais interessados na presente tecnologia temos: Fujifilm; Seiko Epson; Canon; Panasonic; Sony; Hitachi; Ricoh; Konica Minolta Medical & Graphic; Toshiba; e Mitsubishi Electric.

Por ser um equipamento que resolve os problemas existentes nos demais já registrados, como por exemplo, realizar simultaneamente e de forma ininterrupta a coleta de dados de incidência de radiação UVB, UVA, luz visível e temperatura do ar em um único equipamento, armazenamento das informações em sua memória, bem como por ser um equipamento independente de rede elétrica para o seu funcionamento, de computador para o armazenamento dos dados coletados e de manuseio técnico para a realização das medidas ambientais, sendo somente necessária a troca e recarga das baterias, esse equipamento foi registrado como sendo de interesse Nacional e Internacional e foram considerados como setores econômicos com potencial para absorver essa nova tecnologia os de “Agricultura, pecuária e serviços relacionados”; “Atividades dos serviços de tecnologia da informação”; “Pesquisa e desenvolvimento científico”; “Outras atividades profissionais, científicas e técnicas”; e “Atividades de atenção à saúde humana”.

Por fim, após realizados todas as etapas de pesquisa de anterioridades e comparativos com equipamentos já existentes, o nosso pedido de depósito de patente foi protocolado na Agência de Inovação e Transferência de Tecnologia (AGITTEC) sob o nº 00494-PI/2020 no dia 25/05/2020. É importante salientar também que o nosso equipamento foi construído para ser facilmente adaptado a necessidades futuras. É possível, por exemplo, adaptar um comunicador *bluetooth* ou *Wi-fi* no *dt* para que o mesmo envie os dados registrados para um dispositivo móvel ou para um banco de dados pela internet. Adicionalmente, é possível configurar o equipamento para que controle outros dispositivos, como o ligar e desligar lâmpadas de radiação perante doses de UVA e UVB preestabelecidas (para esterilização de ambientes), ou no controle de motores para abertura e fechamento de estufas de cultivo que necessitam de exposição a RUV solar para o seu desenvolvimento. Por fim, já em desenvolvimento, o sistema de sensores e processamento do *dt* pode ser adaptado para se tornar um radiômetro de mão, com um visor que mostra os dados de monitoramento das doses de radiação UVB e UVA ( $J/m^2$ ) em tempo real, podendo ser utilizado para medidas imediatas tanto ao ar livre como em ambiente laboratorial.

## **AGRADECIMENTOS**

Somo gratos a toda ajuda fornecida pela AGITTEC em especial ao Professor Lucio Strazzabosco Dorneles pela ajuda e incentivo. Álvaro Augusto Mainardi é grato à CAPES pela bolsa de estudo concedida.



## REFERÊNCIAS

- BLAUSTEIN, Andrew R; BELDEN, L. K. Amphibian defenses against UV-B radiation. **Evolution & Development**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 89–97, 2003.
- CAIN, Michael S. et al., Ultraviolet radiometer. Depositante: Michael S. Cain. WO n. **WO9951950**. Depósito: 14 out. 1999.
- CARD, Kyle et al., UV Sterilization of Personal Protective Equipment with Idle Laboratory Biosafety Cabinets During the Covid-19 Pandemic. **medRxiv** [S. l.], 2020. DOI: 10.1101/2020.03.25.20043489.
- CHEN, Z. et al., Ultraviolet (UV) B effects on growth and yield of three contrasting sweet potato cultivars. **Photosynthetica**, [S. l.], v. 58, n. 1, p. 37–44, 2020. DOI: 10.32615/ps.2019.137.
- DIEPGEN, T.L.; MAHLER, V. The epidemiology of skin cancer T.L.DIEPGEN. **Non-Surgical Treatment of Keratinocyte Skin Cancer**, [S. l.], v. 146, p. 15–24, 2010. DOI: 10.1007/978-3-540-79341-0\_3.
- GAT, Nahum. Personal UV radiometer. Depositante: Nahum Gat. US n. **US5008548**. Depósito: 16 abril 1991.
- HAMZAVI, Iltefat H. et al., Ultraviolet germicidal irradiation: Possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during the COVID-19 pandemic. **Journal of the American Academy of Dermatology**, [S. l.], v. 82, n. 6, p. 1511–1512, 2020. DOI: 10.1016/j.jaad.2020.03.085.
- KATS, Lee B. et al., Effects of UV-B radiation on anti-predator behavior in three species of amphibians. **Ethology**, [S. l.], v. 106, n. 10, p. 921–931, 2000. DOI: 10.1046/j.1439-0310.2000.00608.x.
- MOAN, Johan. et al., The relationship between UV exposure and incidence of skin cancer. **Photodermatology Photoimmunology and Photomedicine**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 26–35, 2015. DOI: 10.1111/phpp.12139.
- SALGADO, Rafael A. et al., Radiometro ultravioleta, para su aplicacion en modelos de radiacion uv. Titular: Rafael Almanza Salgado. MX n. **MX2014012176**.
- ZAR, JH. Biostatistical analysis. 4nd **Prentice Hall USA**, 1999.
- ZHANG, Rutao. et al., Effects of elevated ultraviolet-B radiation on root growth and chemical signaling molecules in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 171, n. July 2018, p. 683–690, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.01.035.
- ВОРОБЕЦРУСЛАН, Георгий Иванович. et al., Ultraviolet irradiance radiometer. UA n. UA82801U. Depósito: 15 fev. 2013.
- 魏, 颜魏. A kind of high-precision ultraviolet radiation lumeter. CN n. CN109540287A. Depósito: 19 Nov. 2018.

## CAPÍTULO 2

### **Influência da radiação ultravioleta sobre a atividade de vocalização de *Crossodactylus schmidtii* (anura: hylodidae)**

Álvaro Augusto Mainardi<sup>a</sup>; Maurício Beux dos Santos<sup>b</sup>; Vinícius Matheus Caldart<sup>c</sup>; André Passaglia Schuch<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>c</sup> Escola de Biologia, Centro de Diversidade Biológica, Universidade de St. Andrews, St. Andrews, Reino Unido.

### **RESUMO**

Atividades antropogênicas, como a liberação de gases poluentes e o desmatamento, aceleram a redução do ozônio atmosférico bem como reduzem a proteção natural fornecidas por ambientes terrestres para a incidência de radiação ultravioleta. Mesmo sendo essencial para a vida, a radiação ultravioleta apresenta efeitos genotóxicos e em doses elevadas se torna prejudicial a diversos grupos principalmente para aqueles que naturalmente são mais sensíveis a alterações ambientais como os anfíbios. Assim, o presente estudo tem como objetivo verificar a influência da radiação ultravioleta solar sobre a vocalização de *Crossodactylus schmidtii*. Esta espécie é característica de riachos de primeira ordem que ocorrem dentro de ambientes preservados e utiliza de rochas próximas a pequenas quedas d'água como sítio de vocalização. Para realizar o monitoramento da radiação ultravioleta foi utilizado um data logger e para o monitoramento da atividade de vocalização foi utilizado um conjunto de gravadores. Ambos os equipamentos foram instalados no sítio de vocalização da espécie. Os dados coletados foram analisados utilizando modelos lineares generalizados mistos. As variáveis utilizadas como preditoras foram as doses de radiação UVA e UVB acumuladas ao longo do dia, acumuladas em 15 minutos, bem como luminosidade, temperatura e número de machos coespecíficos. Como variáveis resposta foram utilizadas a duração média dos cantos e a probabilidade de emissão dos cantos. Foi observado efeito negativo da radiação UVB em relação à duração média dos cantos e probabilidade de emissão dos cantos, e um efeito positivo da radiação UVA em relação à duração média dos cantos, assim como um efeito positivo do número de coespecíficos. Portanto, estes resultados demonstram que a incidência de radiação ultravioleta solar possui papel importante na atividade de vocalização de *Crossodactylus schmidtii*.

**Palavras-chave:** radiação ultravioleta, vocalização, anfíbio, canto, sítio de reprodução.

## ABSTRACT

Anthropogenic activities, such as the release of polluting gases and deforestation, accelerate the reduction of atmospheric ozone, as well as reduce the natural protection provided by terrestrial environments for the incidence of ultraviolet radiation. Even though essential for life, ultraviolet radiation has genotoxic effects and in high doses it is harmful to several groups, especially for those who are naturally more sensitive to environmental changes such as amphibians. Thus, the present work aims to verify the influence of solar ultraviolet radiation on the vocalization of *Crossodactylus schmidti*. This species is dependent on first-order streams that occur within preserved environments and uses rocks close to small waterfalls as a vocalization site. A data logger was used to monitor the incidence of ultraviolet radiation and a set of recorders was used to monitor vocalization activity. Both equipment were installed at the species' vocalization site. The collected data were analyzed using mixed generalized linear models. The variables used as predictors were the doses of UVA and UVB radiation accumulated over the day, accumulated in 15 minutes, as well as luminosity, temperature and abundance of co-specifics males. The response variables were the mean duration of the calls and the probability of emission of the calls. A negative effect of UVB radiation was observed in relation to the average duration of the calls and the probability of calling, and a positive effect of UVA radiation upon the duration of the calls, as well as a positive effect of the abundance of co-specifics males. Therefore, these results demonstrate that the incidence of solar ultraviolet radiation has an important role in the vocalization activity of *Crossodactylus schmidti*.

**Keywords:** Ultraviolet radiation, vocalization, amphibian, calling behavior, breeding site

## INTRODUÇÃO

As alterações ambientais geradas pelo desmatamento e emissão de gases estufa aceleram a redução nos níveis de ozônio atmosférico e tornam os níveis de incidência de radiação ultravioleta (RUV) maiores (BAIS et al., 2018). Como consequência direta do desmatamento temos a perda da proteção natural dos ambientes em que populações e comunidades estão inseridas (MOONEY et al., 2005), aumentando a quantidade de RUV incidente nesses locais (ROCHA et al., 2020; LIPINSKI et al., 2016). É importante lembrar que, apesar de essencial para a vida, a radiação UV possui efeito genotóxico (SCHUCH; MENCK, 2010) e em doses elevadas se torna prejudicial a diversos grupos de seres vivos (KATS et al., 2000, ZHANG et al., 2019), sendo os anfíbios um dos mais suscetíveis. Isso se deve a características intrínsecas do grupo, como o tegumento permeável por exemplo, que causa alta sensibilidade a variações ambientais (BLAUSTEIN; BELDEN, 2003; LONDERO et al., 2017), tornando este o grupo que possui a maior taxa de declínio de espécies entre os vertebrados (SCHEELE et al., 2019).

Devido à essa maior sensibilidade, problemas causados por doses elevadas de radiação, como a fixação de mutações (YAGURA et al., 2017), indução de morte celular (SCHUCH et

al., 2017), redução no desenvolvimento embrionário (BLAUSTEIN; BELDEN, 2003), alterações morfológicas (SCHUCH et al., 2015a) e no crescimento (PAHKALA et al., 2003) são frequentes. Além disto, ela também pode gerar alterações comportamentais como perda de orientação e redução na locomoção (BLAUSTEIN et al., 2000), alimentação (LONDERO et al., 2017) e no comportamento antipredatório (ALTON et al., 2011). No entanto, como mecanismo de defesa, além dos mecanismos de reparo de DNA (SCHUCH et al., 2017), algumas espécies são capazes de detectar a variação na radiação UV incidente através de células fotorreceptoras nos olhos (KORENYAK; GOVARDOVSKII, 2013). Essa capacidade é diretamente refletida na seleção de sítios de vocalização e alterações na atividade diária, já que os indivíduos tendem a selecionar ambientes com maior cobertura ou reduzir o período de utilização daqueles com alta incidência de UV (KATS et al., 2012; HAN et al., 2007; MARTIN et al., 2016). Como exemplo, a espécie *Oophaga pumilio* é um anuro diurno que utiliza como sítio de vocalização ambientes com alta luminosidade (PRÖHL, 2005) e baixa incidência de UVB, ou então reduz o tempo de utilização dos sítios de vocalização com alta incidência de radiação UV (KATS et al., 2012). Dessa forma, a RUV pode alterar a dinâmica de populações de anfíbios que utilizem o período do dia para vocalizar.

A vocalização dos anuros é fundamental para a manutenção de suas populações, visto que está diretamente relacionada à reprodução, seja para atrair uma parceira ou para repelir um competidor (CALDART et al., 2011). Assim, é importante determinar qual a influência que a exposição à RUV causa no comportamento de vocalização de anuros diurnos de riacho, por estes possuírem maior exposição à radiação solar (CALDART et al., 2016). Uma das espécies presentes nos ambientes lóticos no sul do país é *Crossodactylus schmidtii*. Essa é uma espécie diurna, característica de riachos de primeira ordem que utiliza rochas próximas a pequenas quedas d'água como sítio de vocalização (CALDART et al., 2010). Essa espécie, além de utilizar sinalizações visuais para a comunicação, possui dois cantos distintos: o canto agressivo emitido em alerta a machos coespecíficos e o canto de anúncio para definição territorial, identificação e localização de parceiros coespecíficos (CALDART et al., 2011). Por apresentar comunicação multimodal, é beneficiada por ambientes com maior iluminação (CALDART et al., 2016). A complexidade na comunicação de *C. schmidtii*, bem como a sua dependência de ambientes com cobertura vegetal, tornam essa espécie um ótimo modelo para verificar a real influência da RUV sobre populações em ambientes naturais.

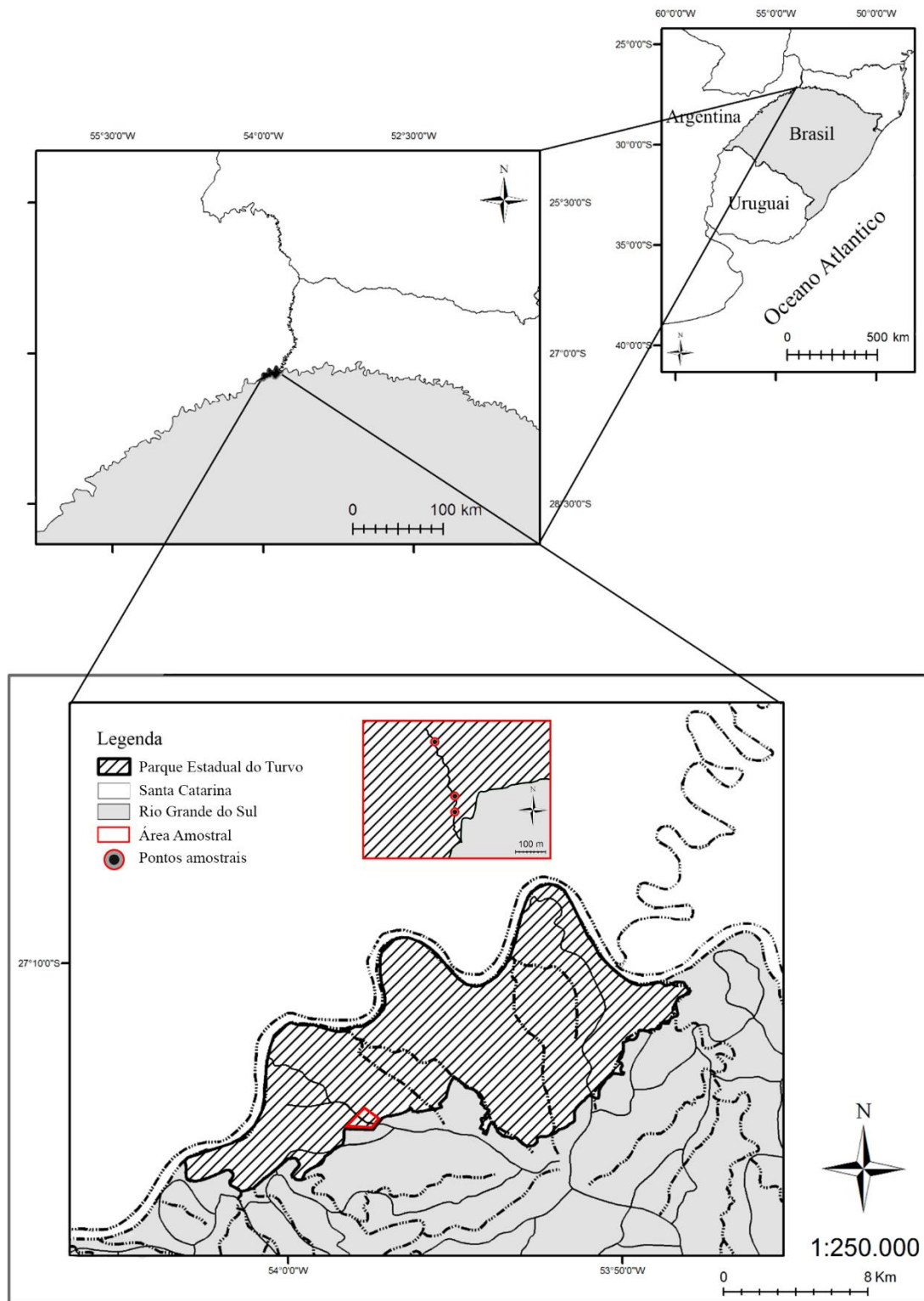
Considerando que alterações ambientais, como o desmatamento, aumentam a incidência de radiação UV, e que essa pode influenciar comportamentos como a vocalização em algumas espécies de anuros, torna-se necessário realizar o monitoramento contínuo da RUV destes

ambientes, para compreender a relação entre ambas. Assim o presente trabalho teve como objetivo verificar a existência de influência da RUV sobre a atividade de vocalização de *C. schmidtii*, testando a hipótese de que a RUV exerce efeito negativo sobre a atividade de vocalização da espécie, devido ao alto custo energético para realizar o reparo dos danos causados durante a exposição (BLAUSTEIN; BELDEN, 2003). Para avaliar esta hipótese foi realizado o monitoramento conjunto da incidência de RUV, luminosidade, temperatura ambiente e atividade de vocalização da espécie em seu ambiente natural.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

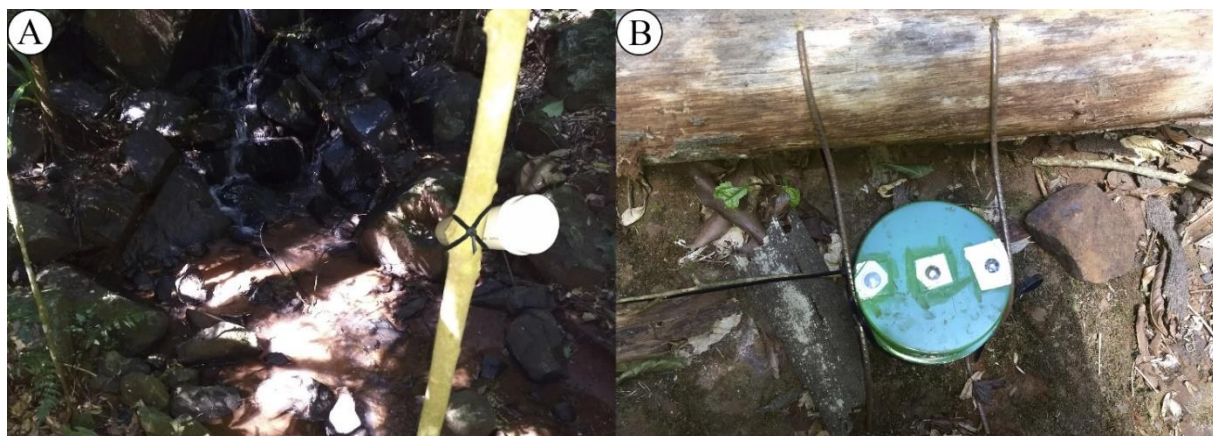
O estudo foi realizado no Parque Estadual do Turvo (Figura 1), localizado ao noroeste do estado do Rio Grande do Sul, no município de Derrubadas (27°13'57.61"S, 53°51'4.82"O). O Parque possui uma área de 17.491,40 ha, fazendo divisa entre o Brasil e Argentina (SEMA, 2005). Possui vegetação do tipo Floresta Estacional decidual e representa o último grande fragmento deste tipo no estado do Rio Grande do Sul (SEMA, 2005). Pela classificação de Köppen o clima é caracterizado como subtropical úmido com temperatura média em janeiro acima de 22 °C e julho entre -3 °C e 18 °C (ALVARES et al., 2013). A precipitação média anual é de 1.665 mm, com distribuição de chuva ao longo de todo o ano (SEMA, 2005).



**Figura 1.** Mapa da região de estudo, indicando o Parque Estadual do Turvo (linhas transversais), área amostral (perímetro vermelho) e pontos amostrais (Pontos vermelhos).

## Coleta de dados

Os dados foram coletados de forma ininterrupta de 08 de dezembro de 2019 a 19 de janeiro de 2020 durante o período reprodutivo da espécie (CALDART et al., 2016), em três pontos distintos ao longo de um riacho de primeira ordem localizado no interior do Parque Estadual do Turvo. Os pontos foram selecionados pela presença de sítios de vocalização da espécie *C. schmidtii* e com cobertura de dossel semelhante, mantendo uma distância mínima de 50 metros entre cada ponto. O registro da atividade de vocalização foi realizado por dois gravadores de áudio mono (Sony ICD-PX312; BLUMSTEIN et al., 2011; ACEVEDO; VILLANUEVA-RIVERA, 2006), posicionados no sítio de vocalização pré-selecionado. As gravações foram realizadas em tempo integral (24 horas por dia e 7 dias por semana) e simultaneamente nos três pontos amostrais. Os gravadores foram posicionados dentro de tubos de PVC, para proteção contra intempéries, e fixados com auxílio de estacas de madeira em margens opostas do riacho cerca de um metro de altura da lâmina d'água em ângulo de 45° apontados ao centro do riacho (Figura 2A). Junto aos gravadores foi instalado um data logger que realizou a coleta de dados referente às variáveis abióticas (Radiação UVB, UVA, Luminosidade e Temperatura do ar; Figura 2B), este foi posicionado de forma a coletar a radiação incidente no sítio de vocalização sempre junto ao riacho. O equipamento coletou os dados destas variáveis das 06:00 h às, 19:00 h, com medidas em intervalos fixos de um minuto, e as mesmas foram armazenadas em um cartão de memória interno. Entre as, 19:01 e 05:59 h o equipamento permanece em regime de economia de energia, onde desliga grande parte de seu sistema, religando automaticamente a partir das 06:00 h. A revisão e manutenção dos equipamentos instalados em campo foram realizadas em expedições com intervalo de dois dias. Durante as revisões, além da troca das baterias dos gravadores e possíveis manutenções nos data loggers instalados, também foram realizadas as tomadas de dados referentes a temperatura e pH d'água, utilizando um termômetro de álcool e um pHmetro digital.



**Figura 2.** Equipamentos utilizados. Exemplo ilustrativo de um dos gravadores instalados no sítio de vocalização de *Crossodactylus schmidti* inserido dentro de um cano de PVC em um ângulo de 45° e direcionado ao centro do riacho (A). Data logger responsável pelo monitoramento da radiação ultravioleta A e B, bem como luminosidade e temperatura do ar. O equipamento está fixado em um tronco por vigas de ferro para evitar o deslocamento acidental (B).

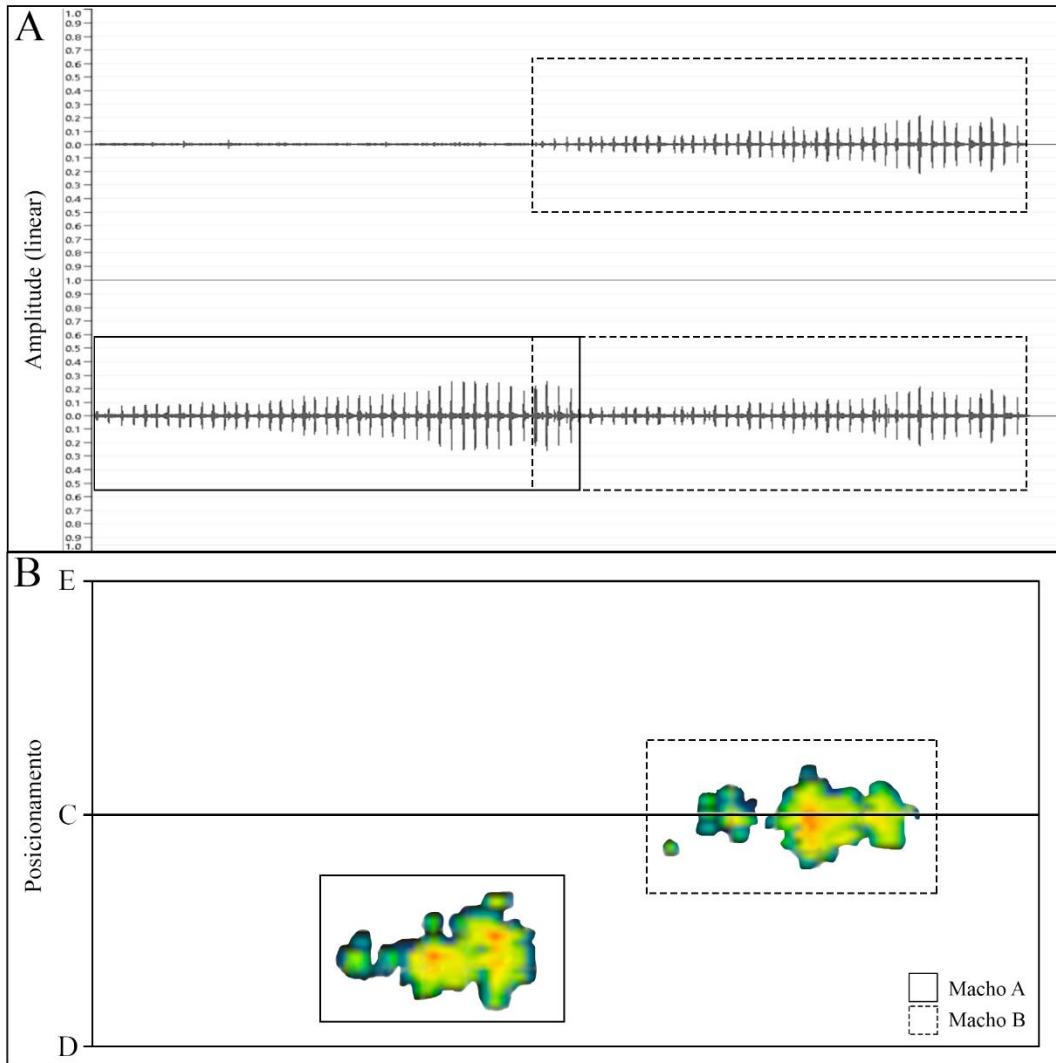
### Tratamento de dados

A análise acústica foi realizada através de uma amostragem de áudio, sendo analisados os 5 primeiros minutos a cada 15 minutos do áudio original transcorridos para cada ponto amostral. Antes da análise foi realizada uma padronização do áudio original retirado dos gravadores. Primeiramente os arquivos brutos foram ajustados para arquivos com 24 horas de duração correspondendo ao período das 00:00 às 23:59. Posteriormente, foram cortados para arquivos com duração de 13 horas correspondendo ao período das 06:00 às, 19:00. Ambos processos foram realizados através do software livre Audacity v.2.4.2 (Audacity Team). Após esse processo, os áudios correspondentes ao mesmo ponto amostral e período de coleta foram sincronizados e combinados em um arquivo estéreo utilizando software PluralEyes 4 (Red Giant). Assim, cada canal de áudio corresponde a um dos gravadores instalados no ponto amostral.

Foram contabilizados três variáveis em cada trecho de 5 minutos de áudio selecionado. A duração média dos cantos de anúncio, que corresponde à média do tempo decorrido entre a execução da primeira nota e última nota de cada canto registrado no intervalo de 5 minutos. A probabilidade de emissão dos cantos é de 50% já que não existe um valor intermediário entre presença e ausência de canto assim a variável foi caracterizando como binária e construída considerando 1 para os intervalos analisados que possuíram atividade de vocalização e 0 para o cenário contrário. Por fim, temos o número de machos vocalizantes pelo método de



estereoscopia acústica utilizando o *plug-in* Stereoscope pro (Blue Cat's) instalado no *software* audacity. Com esse método de análise é possível utilizar o áudio estéreo montado anteriormente para determinar a posição dos indivíduos no espaço. O resultado final é um áudio imersivo e um gráfico tridimensional que permite observar a diferença entre a amplitude dos cantos presente nos canais de áudio (Figura 3; LUMBRERAS; RAMÍREZ, 2010, BLUMSTEIN et al., 2011).



**Figura 3.** Gráfico do levantamento de abundância. A Figura 3A é um sonograma estéreo onde a parte superior representa o canal de áudio esquerdo e a inferior o canal direito, apresentando o canto de dois machos distintos. A Figura 3B apresenta a distribuição espacial dos machos vocalizantes que foi obtida através da subtração dos canais de áudio (E= esquerda; C= Centro; D=Direita). O canto em ambos os gráficos está marcado por um quadrado de linha sólida para o macho vocalizante A e o tracejada para o macho vocalizante B.

Os dados abióticos referentes à radiação UV foram analisados através da dose recebida em cada ponto amostral, sendo: UVA15 e UVB15, (respectivamente e separadamente) as doses de UVA e UVB incidentes no ponto amostral em um intervalo de 15 minutos, sendo 10 minutos correspondentes ao período anterior a análise de áudio e o restante correspondente ao intervalo da análise; UVAacu e UVBacu, referentes às doses de radiação UVA e UVB (respectivamente e separadamente) acumuladas a partir das 06:00 até o final do intervalo de análise do áudio correspondente. Para a temperatura do ar e a luminosidade do ambiente foi considerado a média dos valores coletados no período de 5 minutos em cada ponto amostral. Devido ao fato de que a espécie analisada possui fortes relações sociais (CALDART et al., 2014), foi considerada como variável preditora adicional o número de coespecíficos, que foi calculada como o número de machos vocalizantes menos um.

### **Análise Estatística**

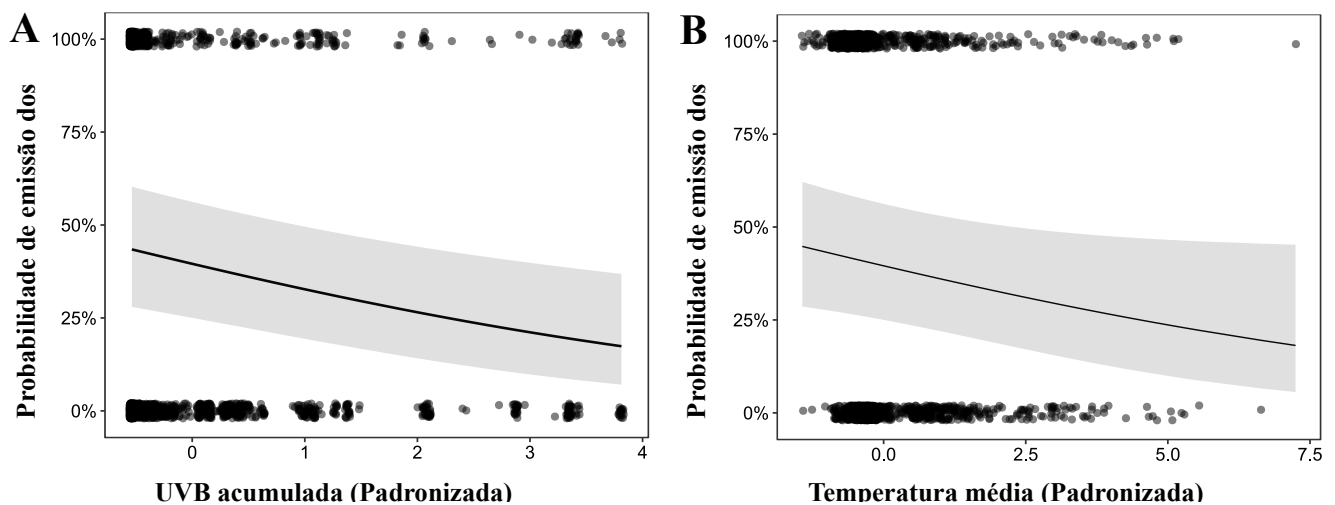
As variáveis amostradas não se configuram como espacialmente nem temporalmente independentes (LEGENDRE, 1993). Isso se deve pelo arranjo cruzado que nossos dados apresentam, tanto de forma espacial quanto temporal, já que foram coletados ao mesmo tempo em três pontos diferentes dentro do mesmo riacho. Visto que o arranjo dos dados é cruzado, utilizamos modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) para avaliar o efeito da radiação (UVA15; UVB15; UVAacu; UVBacu), temperatura, luminosidade e número de coespecíficos sobre a duração média dos cantos e a probabilidade de emissão dos cantos. Foram considerados, também, dois conjuntos de dados referente ao período do dia, sendo o primeiro entre as 07:00 e 18:00, o segundo entre as 10:00 e 15:00. Isso foi necessário devido aos nossos dados serem formados, em grande parte, por valores de RUV iguais a 0. Assim, para o primeiro conjunto de dados foram extraídos a primeira e a última hora do período amostrado por não possuírem radiação incidente. Para o segundo, foi considerado o período onde toda a radiação incidente está concentrada.

Todas as análises foram feitas utilizando o software R (versão 4.0.2, R Development Core Team, 2020). Os modelos da GLMM foram gerados utilizando a biblioteca glmmTMB (BROOKS et al., 2017). Os dados referentes a variáveis preditoras (UVA15; UVB15; UVAacu; UVBacu; temperatura; luminosidade; número de coespecíficos) foram padronizados de forma a possuírem média igual a 0 e desvio padrão igual a 1 (PRADO; ROSSA-FERES, 2014). Para reduzir o efeito da dependência dos dados foram utilizados como efeito randômico em todas as GLMMs o dia, hora e o ponto amostral, todos representados por variáveis categóricas. A partir disto, foram gerados diversos modelos, afim de encontrar aqueles que se adequassem aos dados. Os modelos gerados eram testados utilizando a biblioteca DHARMa (HARTIG, 2020). Ao final

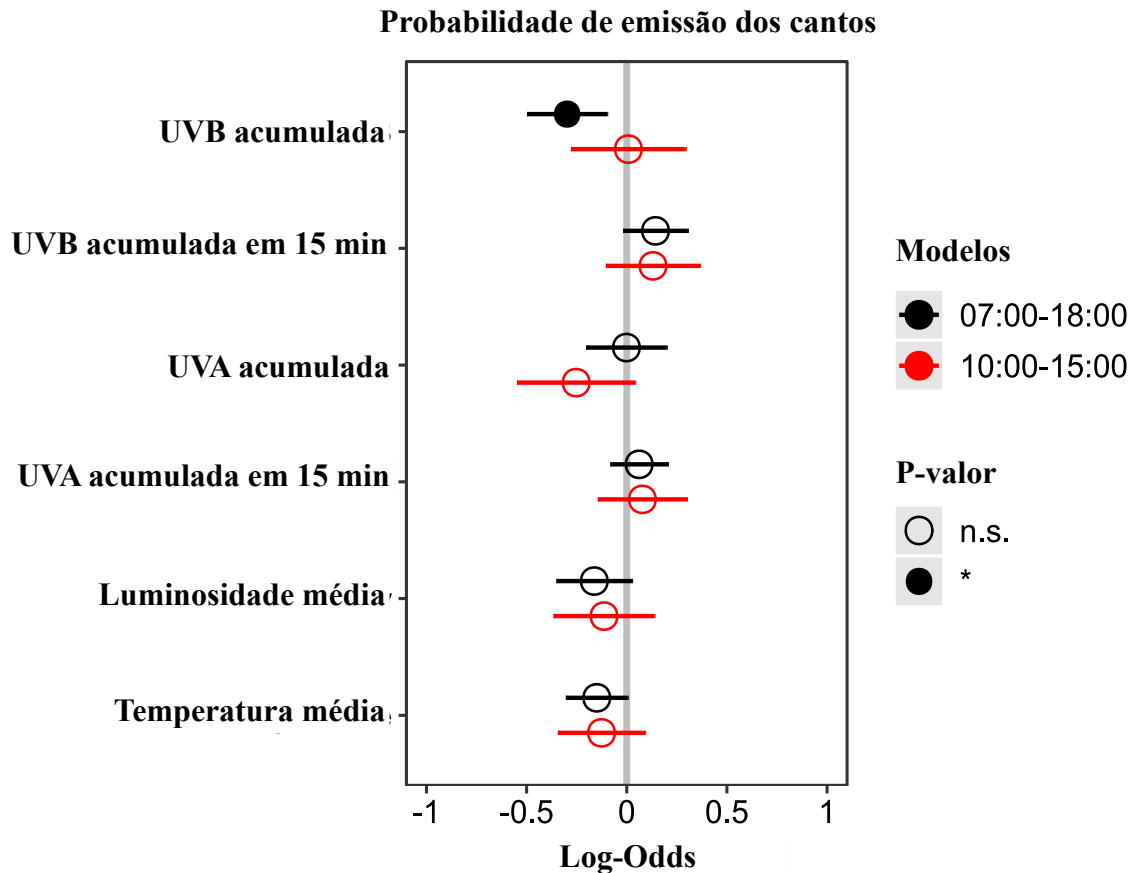
foram selecionados quatro modelos, dois para cada conjunto de dados em cada variável resposta, totalizando quatro modelos gerados pela análise. Para verificar o efeito das preditoras sobre a probabilidade de emissão dos cantos, tanto para o período das 07:00 as 18:00 (Apêndice A, Figura 1) quanto para o período das 10:00 as 15:00 (Apêndice A, Figura 2), os modelos mais adequados foram aqueles com distribuição *binomial* e função *logit*. Já para duração média dos cantos os modelos mais adequados foram aqueles com distribuição *Gaussiana* e função *identity* (Apêndice A, Figura 3 para o período das 07:00 as 18:00; Apêndice A, Figura 4 para o período das 10:00 as 15:00). Os valores estatísticos dos testes de ambos os parâmetros e intervalos estão apresentados nas legendas das figuras correspondentes.

## RESULTADO

Não houve diferença significativa em relação ao pH ( $7,68 \pm 0,11$ ;  $H_{5,35} = 10,52$ ;  $p = 0,06$ ) ou temperatura da água ( $22,75 \pm 1,08$  °C;  $H_{5,35} = 4,44$ ;  $p = 0,48$ ) quando considerados os diferentes pontos amostrais. Considerando o conjunto de dados compreendidos entre as 07:00 e 18:00, apenas a dose acumulada de UVB apresentou efeito significativo, e negativo (Figura 4A), sobre a probabilidade de emissão dos cantos ( $\beta \pm SE = -0,297674 \pm 0,102167$ ;  $z = -2,914$ ;  $p = 0,00357$ ). Apesar de marginalmente significativo, o modelo mostra também um efeito negativo da temperatura do ar ( $\beta \pm SE = -0,149519 \pm 0,078812$ ;  $z = -1,897$ ;  $p = 0,05781$ ; Figura 4B). No entanto, nenhuma das variáveis testadas, no conjunto de dados das 10:00-15:00, apresenta efeito sobre a probabilidade de emissão dos cantos (Figura 5).

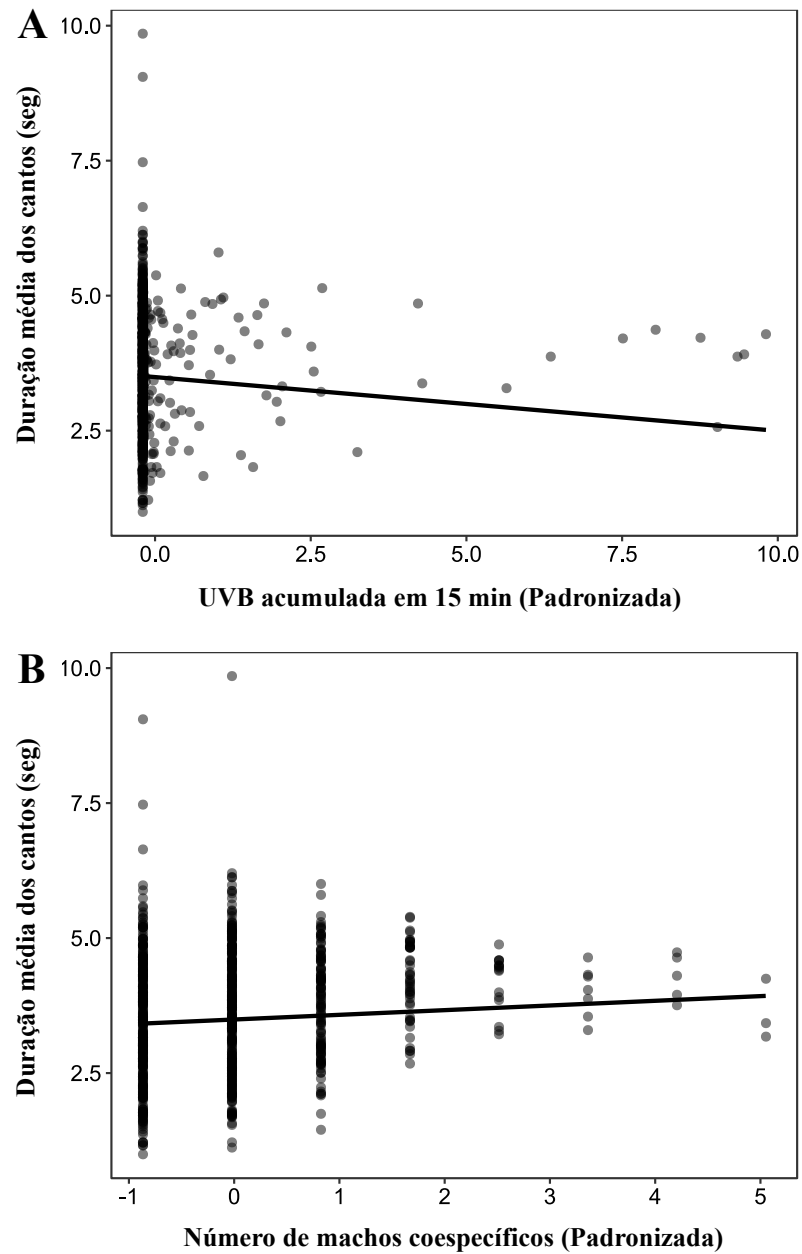


**Figura 4.** Efeitos da radiação UVB acumulada (A) e da temperatura média do ar (B) sobre a probabilidade de emissão dos cantos de machos de *Crossodactylus schmidtii* para o modelo do período do dia inteiro (07:00 às 18:00). A linha espessa no gráfico superior indica um efeito negativo e significativo da UVB acumulada total ( $p = 0,004$ ; A). A linha fina no gráfico inferior indica um efeito negativo e marginalmente significativo da temperatura média do ar ( $p = 0,058$ ; B).

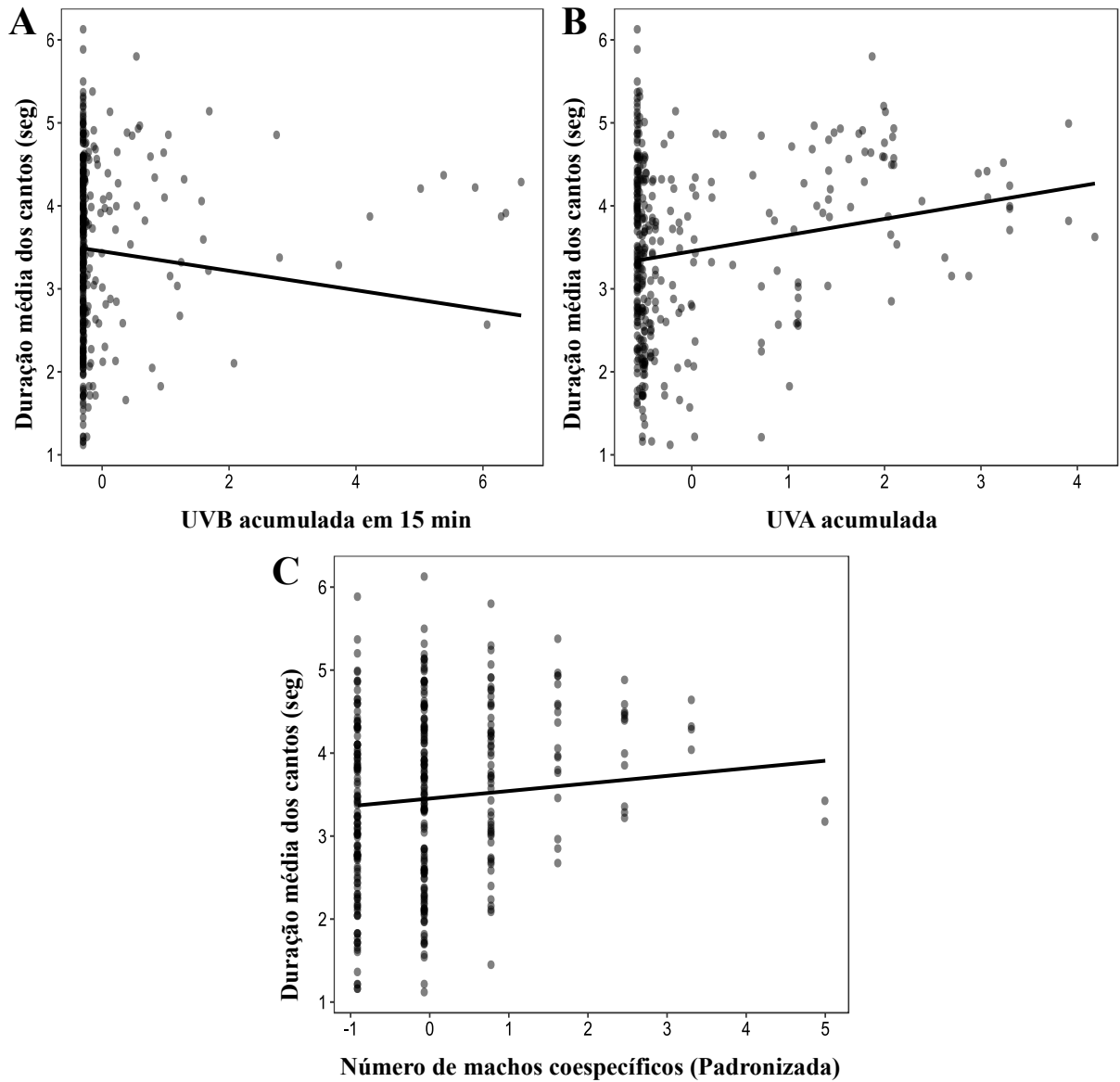


**Figura 5.** “Forest plot” dos modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) realizados para investigar os efeitos da radiação UVA, UVB, temperatura do ar e intensidade da luz na probabilidade de emissão dos cantos de machos de *Crossodactylus schmidti* para duas janelas temporais: 07:00 às 18:00 (em preto) e das 10:00 às 15:00 (em vermelho). Para o modelo das 07:00h às 18:00h, há um efeito negativo significativo do UVB acumulada total e um efeito negativo e marginalmente significativo da temperatura média do ar ( $p = 0,058$ ) na probabilidade de emissão dos cantos. O círculo representa a estimativa do efeito de cada variável. Os traços representam um intervalo de confiança de 95%.

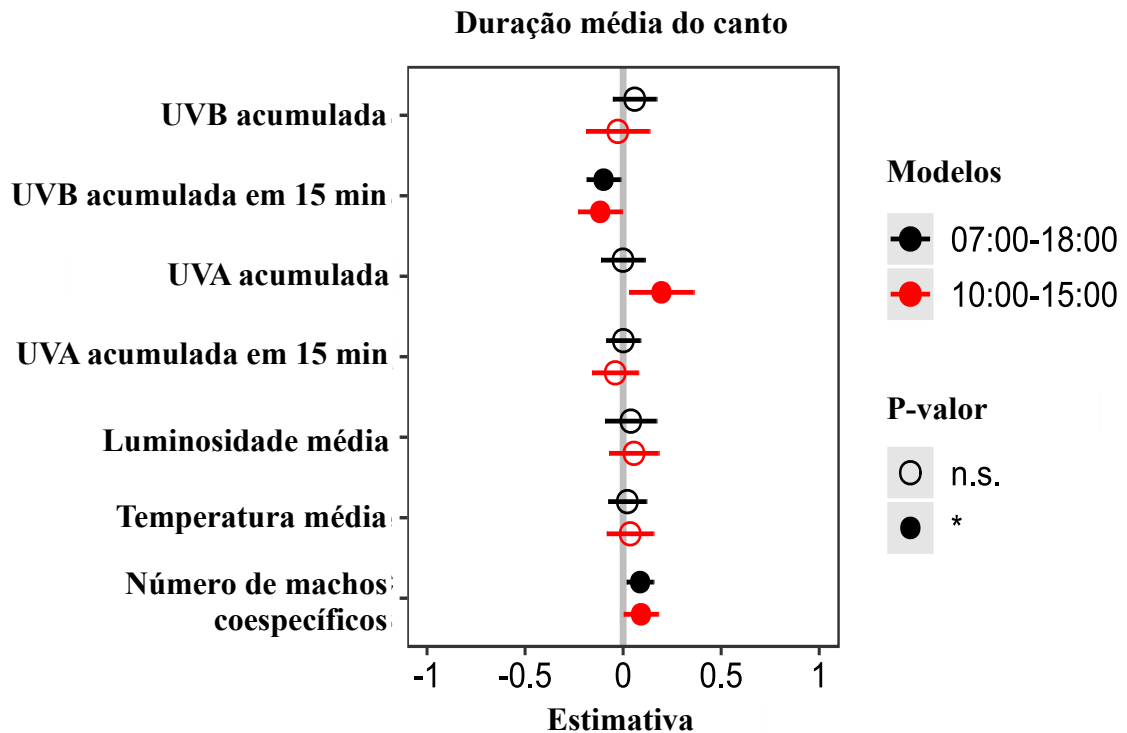
Considerando a duração média dos cantos no conjunto de dados compreendidos das 07:00 às 18:00 foi observado o efeito negativo da UVB acumulada em 15 minutos ( $\beta \pm SE = -0,0996631 \pm 0,0438408$ ;  $z = -2,273$ ,  $p = 0,0230$ ; Figura 6A) e positivo para o número de coespecíficos ( $\beta \pm SE = 0,0865680 \pm 0,0346949$ ;  $z = 2,495$ ;  $p = 0,0126$ ; Figura 6B). Por fim, quando considerado os dados referentes ao período das 10:00 às 15:00 foi observado um efeito negativo da UVB acumulada em 15 minutos (UVB15:  $\beta \pm SE = -0,11710 \pm 0,05714$ ;  $z = -2,050$ ;  $p = 0,0404$ ; Figura 7A) e positivo da UVA acumulada durante o dia (UVAacu:  $\beta \pm SE = 0,19528 \pm 0,08412$ ;  $z = 2,321$ ;  $p = 0,0203$  Figura 7B) e do número de coespecíficos ( $\beta \pm SE = 0,09110 \pm 0,04471$ ;  $z = 2,037$ ;  $p = 0,0416$ ; Figura 7C; Figura 8). Os resultados estatísticos de todos os modelos são apresentados nas Tabelas 1 e 2, no apêndice B deste documento.



**Figura 6.** Efeitos da UVB acumulada em 15 minutos (A) e do número de machos coespecíficos (B) na duração média dos cantos de machos de *Crossodactylus schmidtii* para o modelo de período das 07:00 às 18:00. As linhas indicam um efeito negativo significativo de UVB acumulada em 15 minutos ( $p = 0,023$ , A) e um efeito positivo significativo de número de machos coespecíficos ( $p = 0,013$ , B), respectivamente.



**Figura 7.** Efeitos da radiação UVB acumulada em 15 minutos, UVB acumulada total e número de machos coespecíficos na duração média dos cantos de machos de *Crossodactylus schmidti* para o modelo de período de 10:00 a 15:00. Nos gráficos, as linhas indicam um efeito negativo e significativo de UVB acumulada em 15 minutos ( $p = 0,04$ , **A**), um efeito positivo e significativo de UVB acumulada total ( $p = 0,02$ , **B**) e um efeito positivo e significativo de número de machos coespecíficos ( $p = 0,04$ , **C**), respectivamente.



**Figura 8.** “Forest plot” dos modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) realizados para investigar os efeitos da radiação UVA, UVB, temperatura do ar, intensidade de luz e número de machos coespecíficos na duração média dos cantos emitidos por machos de *Crossodactylus schmidti* para duas janelas temporais 07h00 às 18h00 (em preto) e 10h00 às 15h00 (em vermelho). Para o modelo das 07: 00h às 18: 00h, há um efeito significativo negativo de UVB acumulada de 15 minutos e um efeito significativo positivo de número de machos coespecíficos. Para o modelo 10:00 - 15:00, há um efeito significativo negativo de UVB acumulada de 15 minutos, um efeito significativo positivo de UVB acumulada total e um efeito significativo positivo de número de machos coespecíficos ( $p = 0,04$ ). O círculo representa a estimativa do efeito de cada variável. Os traços representam um intervalo de confiança de 95%.

## DISCUSSÃO

Nossos resultados mostraram que a RUV possui um claro efeito sobre atividade de vocalização de *C. schmidti*, principalmente no espectro da UVB, que em três dos modelos testados mostrou efeito negativo sobre este comportamento. Este efeito negativo da UVB pode se tratar do reflexo de um comportamento de defesa (HAN et al., 2007) devido ao potencial genotóxico da RUV (SCHUCH; MENCK, 2010). Os efeitos deste espectro nos anfíbios pode variar de acordo com a dose e o estágio de desenvolvimento do indivíduo, e trabalhos anteriores mostram que altas doses de UVB em fases iniciais podem causar alterações no consumo de alimentos (LONDERO et al., 2017), redução no desenvolvimento corporal (SCHUCH et al., 2015a), na locomoção e na orientação (BLAUSTEIN et al., 2000). Já em adultos, por sua vez,

pode influenciar na seleção de sítios de vocalização (KATS et al., 2012), ou no período de utilização de um ambiente (HAN et al., 2007). No nosso estudo, a radiação UVB mostrou influenciar tanto na possibilidade da emissão de um canto quanto na duração dos cantos emitidos. Por mais que ainda não exista registro de qualquer forma de detecção direta da RUV por *C. schmidti*, essa redução da atividade pode ser interpretada como reflexo de uma estratégia para redução do consumo energético. Isto se justifica visto que o reparo dos danos causados pela exposição a RUV apresenta um alto custo energético para o organismo (BLAUSTEIN; BELDEN, 2003), custo este que também é elevado durante a vocalização (STODDARD; SALAZAR, 2011).

Em contraponto ao efeito negativo apresentado pela UVB, a UVA em um dos modelos gerados mostrou efeito positivo sobre a duração média dos cantos. Isso pode ser justificado pelo fato de a energia dos comprimentos de onda de UVA ser muito baixa, muito semelhante aos comprimentos de onda da luz visível. Adicionalmente, este efeito pode representar o foto-reparo presente nos anfíbios, que consiste na ação das enzimas fotoliasas para a remoção de lesões de DNA causadas pela RUV como os dímeros de pirimidina ciclobutano (CPD) e os pirimidiona (6-4) pirimidona fotoprodutos (6-4PPs), empregando energia dos fótons emitidos entre 300-500 nm (FRIEDBERG et al., 2003; SCHUCH et al., 2015b). Sendo assim a exposição a faixas próximas a luz visível reduz os danos causados por exposições a comprimentos de onda mais curtos como os de UVB (SCHUCH et al., 2015a), possibilitando uma maior taxa de sobrevivência (SANTOS et al., 2018). Porém, apesar de fazer parte do processo de foto-reparo a UVA também possui potencial genotóxico (YAGURA et al., 2017).

Outro resultado interessante foi a demonstração de um efeito negativo da temperatura sobre a probabilidade de emissão dos cantos da espécie. Anfíbios são altamente dependentes da temperatura ambiente para regular sua própria temperatura corporal (WELLS, 2003). Porém existem faixas de tolerância que variam de acordo com a espécie e o tamanho do indivíduo (LUTTERSCHMIDT; HUTCHISON, 1997), sendo necessária a termorregulação em temperaturas elevadas através da hidratação e transpiração (NOWAKOWSKI et al., 2017). Devido a metodologia aplicada neste trabalho, os dados foram coletados nos meses de dezembro e janeiro que correspondem aos meses mais quentes na área estudada (SEMA, 2005). Dessa forma, a continuação deste estudo é necessária para ampliarmos a coleta de dados nas outras estações do ano, principalmente nas de clima frio, para avaliar com mais acurácia os efeitos da variação de temperatura sobre a atividade de canto da espécie.

Por fim os resultados mostraram efeito positivo do número de machos coespecíficos na duração média dos cantos de anúncio. *C. schmidti* é uma espécie altamente territorial com



interações sociais bem desenvolvidas (CALDART et al., 2014). Assim, possui um complexo repertório de comunicação formado por sinais acústicos, visuais e multimodais (CALDART et al., 2014), onde o anúncio normalmente possui função de definição territorial, identificação e de localização de parceiros coespecíficos (CALDART et al., 2011).

Ocorreu uma variação entre o resultado dos modelos realizados com a probabilidade de emissão dos cantos em períodos diferentes. Uma possível explicação seria o fato de que em um dos modelos foram utilizados os dados do período das 10:00 às 15:00, o que, por sua vez, restringiu a variação destes valores para um período curto de tempo. A restrição dos valores de radiação para um curto período de tempo ressalta a importância da conservação das vegetações ripárias, já que, em contraponto, ambientes perturbados tendem a receber doses maiores de radiação durante todo o período do dia (LIPINSKI et al., 2016; ROCHA et al., 2020). Portanto, este trabalho demonstra de forma clara que os comprimentos de onda da radiação UVB solar influenciam negativamente a atividade de canto de *C. schmidtii*, sugerindo que as mudanças nos ambientes de floresta causadas pelo desmatamento e outras ações antrópicas podem sim prejudicar o sucesso reprodutivo desta espécie de anuro.

## AGRADECIMENTOS

Somo gratos a toda a equipe do Parque Estadual do Turvo pela ajuda na coleta de dados, em especial ao Gestor do parque Rafael Diel Schenkel por toda a colaboração. Álvaro Augusto Mainardi é grato à CAPES pela bolsa de estudo concedida.

## REFERÊNCIA

ACEVEDO, MIGUEL A; VILLANUEVA-RIVERA, LUIS J. Using Automated Digital Recording Systems as Effective Tools for the Monitoring of Birds and Amphibians. **Wildlife Society Bulletin**, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 211–214, 2006. DOI: 10.2193/0091-7648(2006)34[211:uadrsa]2.0.co;2.

ALTON, Lesley A; WILSON, Robbie S; FRANKLIN, Craig E. A small increase in uv-b increases the susceptibility of tadpoles to predation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [S. l.], v. 278, n. 1718, p. 2575–2583, 2011. DOI: 10.1098/rspb.2010.2368.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

BAIS, A. F. et al. Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017 **Photochemical and Photobiological Sciences**, 2018. DOI: 10.1039/c7pp90043k.

BLAUSTEIN, Andrew R; BELDEN, L. K. Amphibian defenses against UV-B radiation. **Evolution & Development**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 89–97, 2003.

BLAUSTEIN, Andrew R. et al. Effects of ultraviolet radiation on locomotion and orientation in roughskin newts (*Taricha granulosa*). **Ethology**, [S. l.], v. 106, n. 3, p. 227–234, 2000. DOI: 10.1046/j.1439-0310.2000.00519.x.

BLUMSTEIN, Daniel T. et al. Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: Applications, technological considerations and prospectus. **Journal of Applied Ecology**, [S. l.], v. 48, n. 3, p. 758–767, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2011.01993.x.

BROOKS, Mollie E. et al. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. **R Journal**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 378–400, 2017. DOI: 10.32614/rj-2017-066.

CALDART, Vinícius M. et al. Extension of the geographical distribution of two anuran species for Rio Grande do Sul State, Brazil, with comments on natural history. **Biota Neotropica**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 143–147, 2010. DOI: 10.1590/s1676-06032010000300015.

CALDART, Vinícius M; IOP, Samanta; CECHIN, Sonia Zanini. Vocalizations of *Crossodactylus schmidti* Gallardo, 1961 (Anura, Hylodidae): Advertisement call and aggressive call. **North-Western Journal of Zoology**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 118–124, 2011.

CALDART, Vinícius M; IOP, Samanta; CECHIN, Sonia Zanini. Erratum: Social interactions in a neotropical stream frog reveal a complex repertoire of visual signals and the use of multimodal communication (*Behaviour* (2014) 151: (719-739)). **Behaviour**, [S. l.], v. 151, n. 9, p. 1361, 2014. DOI: 10.1163/1568539X-00003210.

CALDART, Vinícius M. et al. Calling Activity of a Stream-Breeding Frog from the Austral Neotropics: Temporal Patterns of Activity and the Role of Environmental Factors. **Herpetologica**, [S. l.], v. 72, n. 2, p. 90–97, 2016. DOI: 10.1655/HERPETOLOGICA-D-15-00029.

FRIEDBERG, Errol C. and Repair. **Nature**, [S. l.], v. 104, n. 29, p. 436–440, 2003. DOI: 10.1177/1049732315591483.

HAN, Barbara A. et al. Behavioral avoidance of ultraviolet-B radiation by two species of neotropical poison-dart frogs. **Biotropica**, [S. l.], v. 39, n. 3, p. 433–435, 2007. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2007.00268.x.

HARTIG, F. (2020). DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. **R package version 0.2.7**. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>

KATS, Lee B. et al. Effects of UV-B radiation on anti-predator behavior in three species of amphibians. **Ethology**, [S. l.], v. 106, n. 10, p. 921–931, 2000. DOI: 10.1046/j.1439-0310.2000.00608.x.

KATS, Lee B. et al. Ultraviolet Radiation Influences Perch Selection by a Neotropical Poison-Dart Frog. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 7, n. 12, p. 3–7, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0051364.

KORENIAK, D. A; GOVARDOVSKIĀ, V. I. [Photoreceptors and visual pigments in three species of newts]. **Zhurnal evoliutsionnoĭ biokhimii i fiziologii**, [S. l.], v. 49, n. 4, p. 264–271, 2013.

LEGENDRE, Pierre. Spatial Autocorrelation : Trouble or New Paradigm ? **Ecological Society of America**, [S. l.], v. 74, n. 6, p. 1659–1673, 1993.

- LIPINSKI, Victor M; SANTOS, Tiago G; SCHUCH, André P. An UV-sensitive anuran species as an indicator of environmental quality of the Southern Atlantic Rainforest. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S. l.], v. 165, p. 174–181, 2016. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2016.10.025.
- LONDERO, James E. L. et al. Impacts of UVB radiation on food consumption of forest specialist tadpoles. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 143, n. May, p. 12–18, 2017. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.05.002.
- LUMBRERAS, Marva A. M.; RAMÍREZ, Antonio A. Enhancing the realism with 3D sound in different virtual worlds. **Conielecomp 2010 - 20th International Conference on Electronics Communications and Computers**, [S. l.], p. 187–191, 2010. DOI: 10.1109/CONIELECOMP.2010.5440770.
- LUTTERSCHMIDT, W. I; HUTCHISON, V. H. The critical thermal maximum: Data to support the onset of spasms as the definitive end point. **Canadian Journal of Zoology**, [S. l.], v. 75, n. 10, p. 1553–1560, 1997. DOI: 10.1139/z97-782.
- MARTIN, Melissa. et al. UV wavelengths experienced during development affect larval newt visual sensitivity and predation efficiency. **Biology Letters**, [S. l.], v. 12, n. 2, 2016. DOI: 10.1098/rsbl.2015.0954.
- MOONEY, Harold; CROPPER, Angela; REID, Walter. Confronting the human dilemma. **Nature**, [S. l.], v. 434, n. 7033, p. 561–562, 2005. DOI: 10.1038/434561a.
- NOWAKOWSKI, A. Justin. et al. Tropical amphibians in shifting thermal landscapes under land-use and climate change. **Conservation Biology**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 96–105, 2017. DOI: 10.1111/cobi.12769.
- PAHKALA, Maarit; LAURILA, Anssi; MERILÄ, Juha. Effects of ultraviolet-B radiation on behaviour and growth of three species of amphibian larvae. **Chemosphere**, [S. l.], v. 51, n. 3, p. 197–204, 2003. DOI: 10.1016/S0045-6535(02)00813-5.
- PRADO, Vitor H. M; ROSSA-FERES, Denise de C. Multiple determinants of anuran richness and occurrence in an agricultural region in south-eastern Brazil. **Environmental Management**, [S. l.], v. 53, n. 4, p. 823–837, 2014. DOI: 10.1007/s00267-014-0241-y.
- PRÖHL, Heike. Territorial behavior in dendrobatid frogs. **Journal of Herpetology**, [S. l.], 2005. DOI: 10.1670/162-04A.1.
- ROCHA, Marcelo C. et al. Preserved riparian forest protects endangered forest-specialists amphibian species against the genotoxic impact of sunlight and agrochemicals. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 249, n. April, p. 108746, 2020. DOI: 10.1016/j.biocon.2020.108746.
- SANTOS, Caroline P. et al. Sunlight-induced genotoxicity and damage in keratin structures decrease tadpole performance. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S. l.], v. 181, p. 134–142, 2018. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2018.03.013.
- SCHUCH, André P; MENCK, Carlos Frederico Martins. The genotoxic effects of DNA lesions induced by artificial UV-radiation and sunlight. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S. l.], 2010. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2010.03.004.
- SCHUCH, André P. et al. Molecular and sensory mechanisms to mitigate sunlight-induced DNA damage in treefrog tadpoles. **Journal of Experimental Biology**, [S. l.], v. 218, n. 19, p. 3059–3067, 2015b. a. DOI: 10.1242/jeb.126672.

SCHUCH, André P. et al. Identification of influential events concerning the Antarctic ozone hole over southern Brazil and the biological effects induced by UVB and UVA radiation in an endemic treefrog species. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 118, p. 190–198, 2015a. b. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.04.029.

SCHUCH, André P. et al. Sunlight damage to cellular DNA: Focus on oxidatively generated lesions. **Free Radical Biology and Medicine**, [S. l.], v. 107, p. 110–124, 2017. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.01.029.

SEMA – **Secretaria Estadual do meio ambiente**. Plano De Manejo Do Turvo. Brasil, Rio Grande do Sul, 2005.

SCHEELE, Ben C. et al. Amphibian fungal panzootic causes catastrophic and ongoing loss of biodiversity. **Wildlife Disease**, [S. l.], v. 1463, n. March 2019, p. 1–4, 2020. DOI: 10.1126/science.aav0379 Scheele.

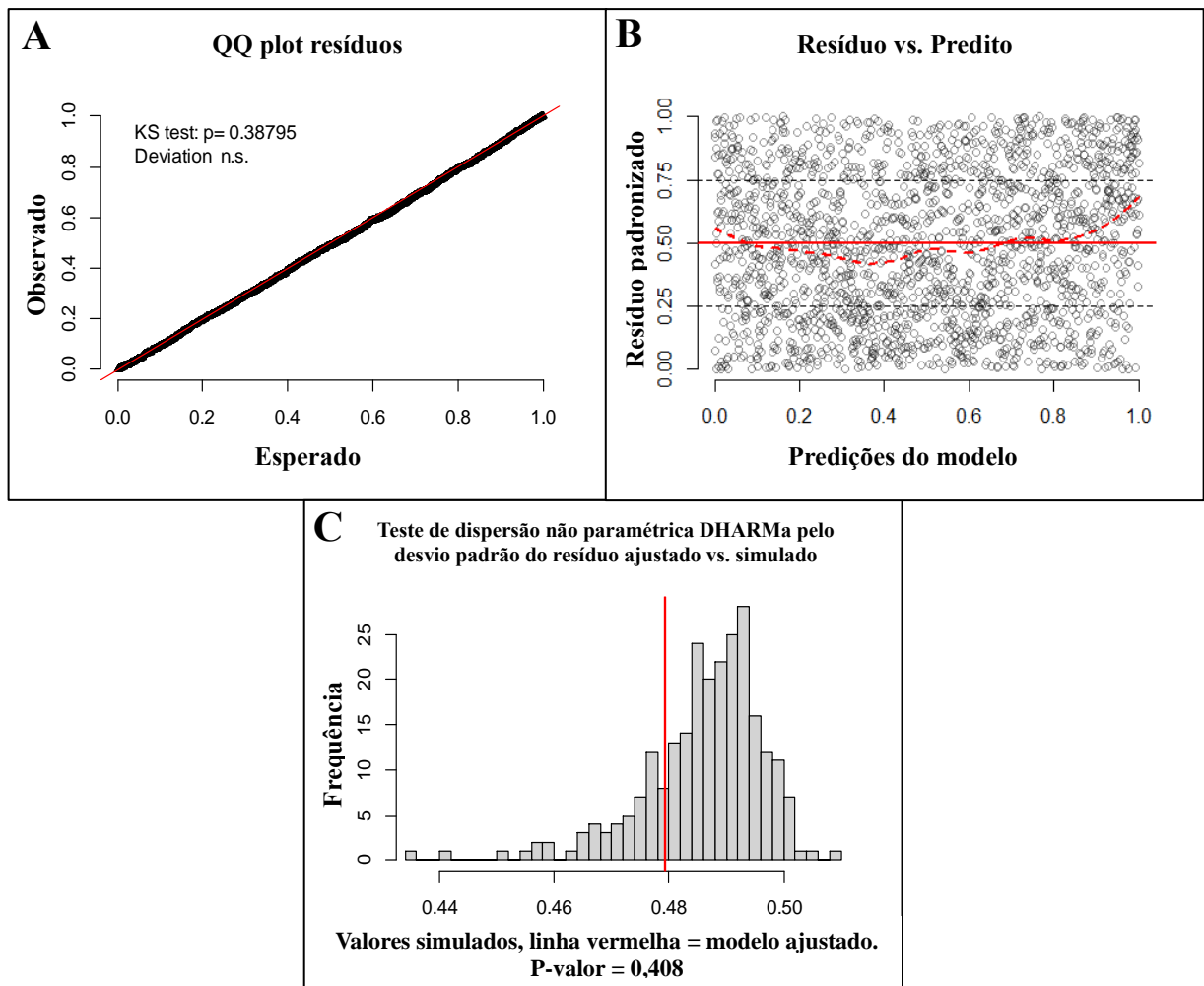
STODDARD, Philip K; SALAZAR, Vielka L. Energetic cost of communication. **Journal of Experimental Biology**, [S. l.], v. 214, n. 2, p. 200–205, 2011. DOI: 10.1242/jeb.047910.

WELLS, Kentwood D. **The Ecology and Behavior of Amphibians**. [s.l: s.n.]. DOI: 10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004.

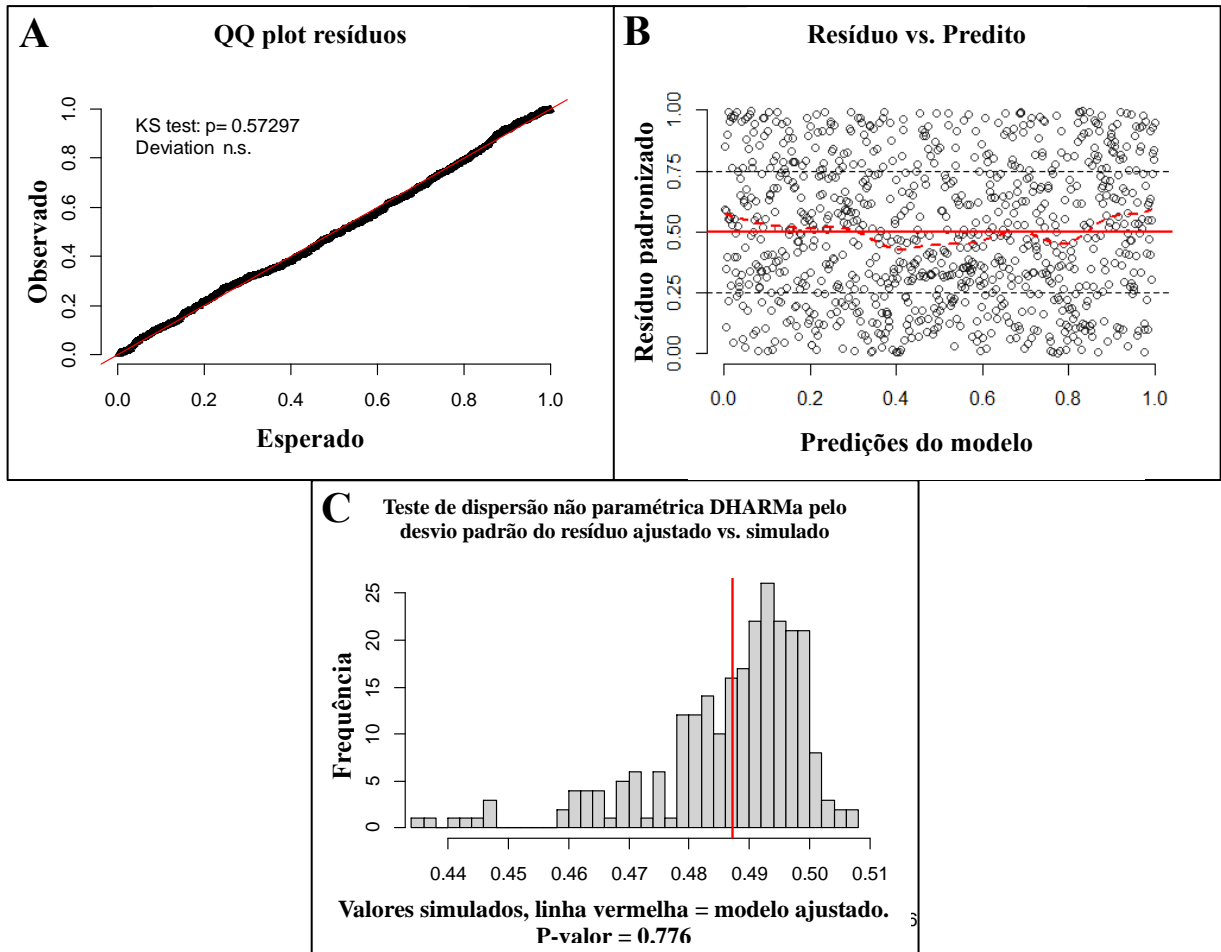
YAGURA, Teiti et al. Direct participation of DNA in the formation of singlet oxygen and base damage under UVA irradiation. **Free Radical Biology and Medicine**, [S. l.], v. 108, n. March, p. 86–93, 2017. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.03.018.

ZHANG, Rutao. et al. Effects of elevated ultraviolet-B radiation on root growth and chemical signaling molecules in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 171, n. July 2018, p. 683–690, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.01.035.

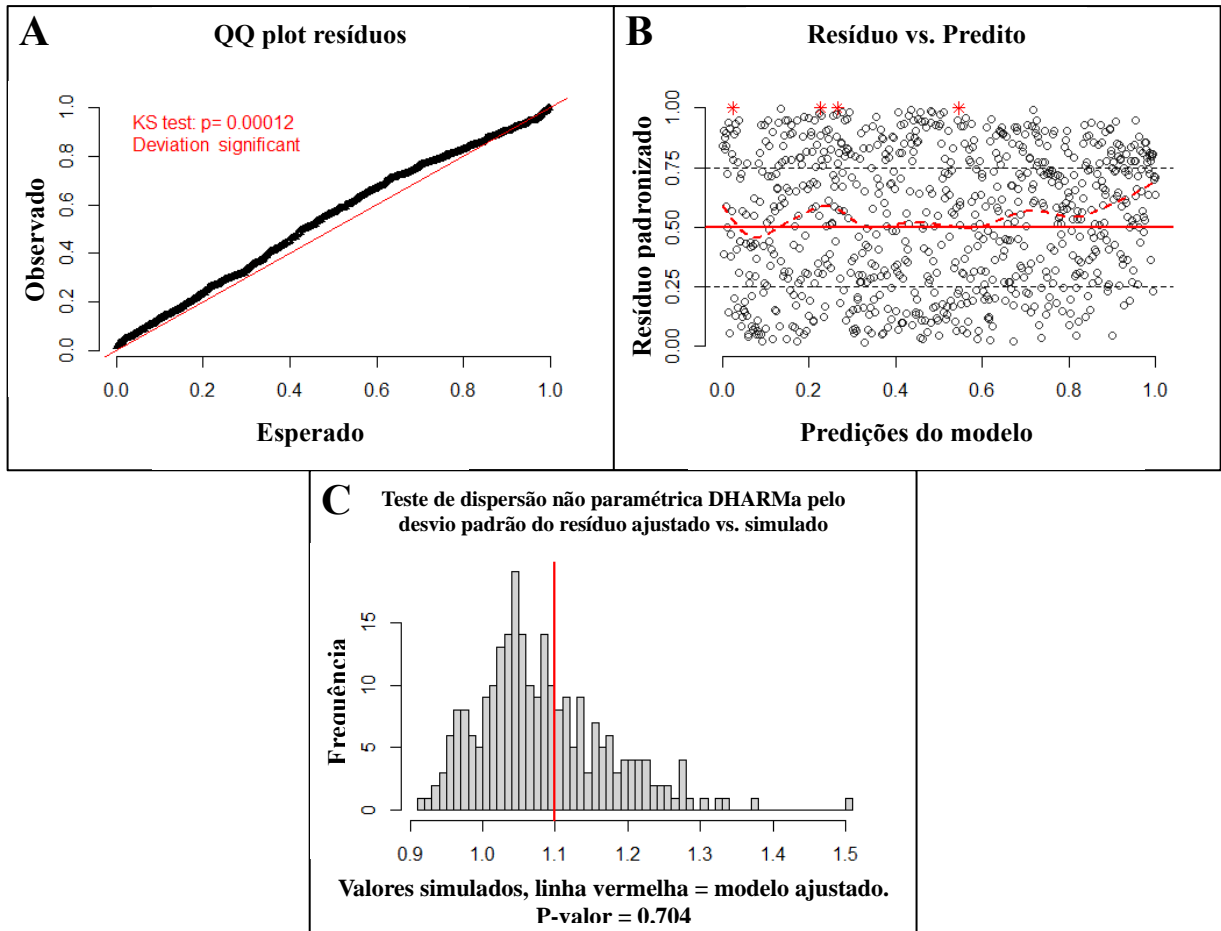
## APÊNDICE A



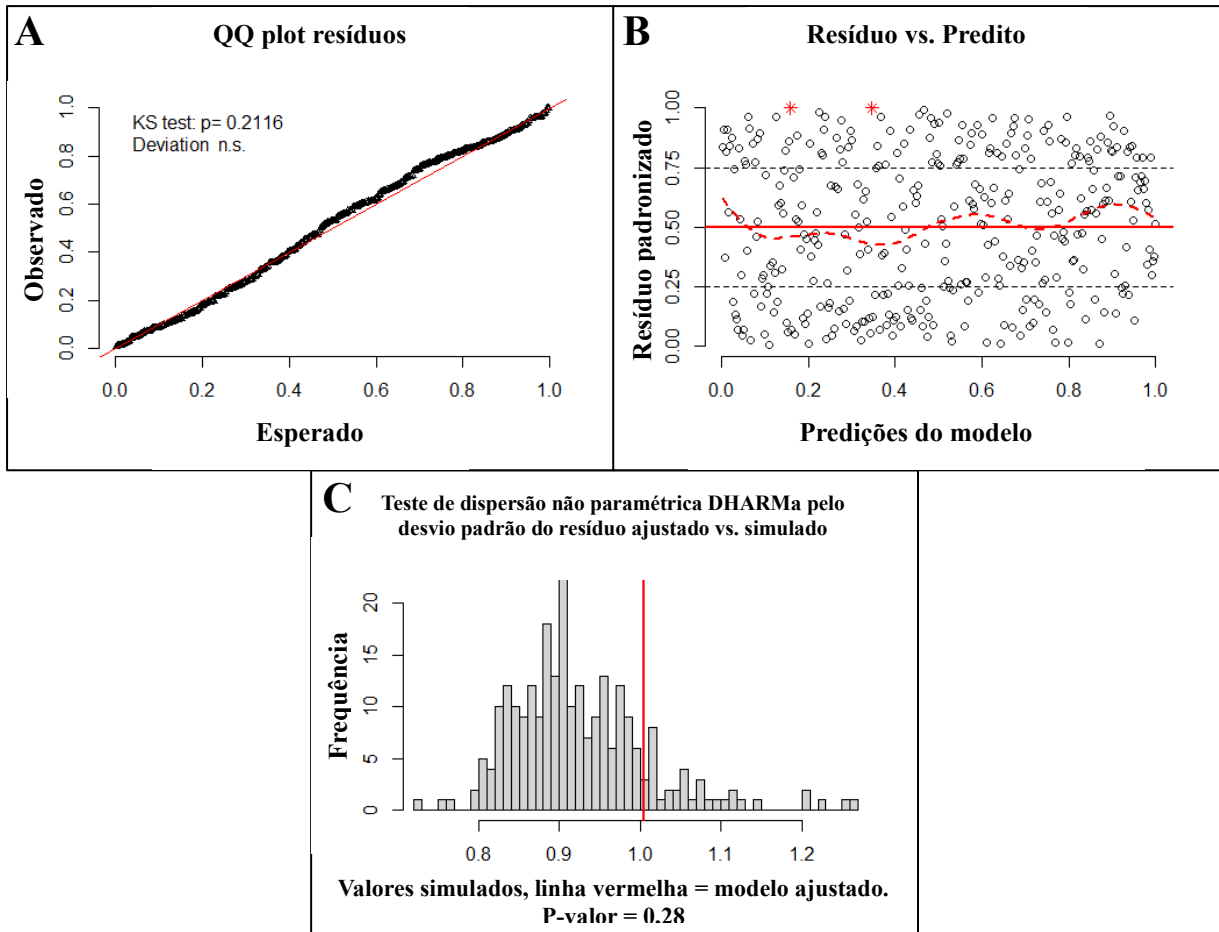
**Figura 1.** Gráficos de diagnósticos e testes para a probabilidade de emissão dos cantos por modelo de variáveis ambientais ajustado, assumindo uma estrutura de erro binomial e função de ligação logit (período 06:00 as 18:00). Figura 1A: O gráfico Q-Q dos resíduos observados vs. esperados e o teste de Kolmogorov-Smirnov em relação a uniformidade mostram um bom ajuste do modelo ( $D = 0,020$ ,  $p = 0,387$ ). Figura 1B: o gráfico dos resíduos padronizados vs. valores previstos mostra a uniformidade dos resíduos. Figura 1C: O teste de dispersão e o histograma de resíduos simulados vs. resíduos observados do modelo ajustado (linha vermelha) não indicam nenhuma sub ou superdispersão nos resíduos (razão de dispersão = 0,986,  $p = 0,408$ ).



**Figura 2.** Gráficos de diagnósticos e testes para a probabilidade de emissão dos cantos por modelo de variáveis ambientais ajustado assumindo uma estrutura de erro binomial e função de ligação logit (período 10:00 as 15:00). Figura 2A: o gráfico Q-Q dos resíduos observados vs. esperados e o teste de Kolmogorov-Smirnov em relação a uniformidade mostram um bom ajuste do modelo ( $D = 0,026$ ,  $p = 0,573$ ). Figura 2B: o gráfico dos resíduos padronizados vs. valores previstos mostra a uniformidade dos resíduos. Figura 2C: O teste de dispersão e o histograma de resíduos simulados vs. resíduos observados do modelo ajustado (linha vermelha) não indicam nenhuma sub ou superdispersão nos resíduos (razão de dispersão = 1,001,  $p = 0,776$ ).



**Figura 3.** Gráficos de diagnóstico e testes para a duração média da chamada por modelo de variáveis ambientais ajustado assumindo uma estrutura de erro Gaussiana e uma função de link de identidade. Figura 3A: o gráfico Q-Q dos resíduos observados vs. esperados e o teste de Kolmogorov-Smirnov em relação a uniformidade mostram um bom ajuste do modelo ( $D = 0,079$ ,  $p = 0,0001$ ). Figura 3B: o gráfico dos resíduos padronizados vs. valores previstos mostra a uniformidade dos resíduos. Figura 3C: O teste de dispersão e o histograma de resíduos simulados vs. resíduos observados do modelo ajustado (linha vermelha) não indicam nenhuma sub ou superdispersão nos resíduos (razão de dispersão = 1,105,  $p = 0,704$ ).



**Figura 4.** Gráficos de diagnósticos e testes para a probabilidade de emissão dos cantos por modelo de variáveis ambientais ajustado assumindo uma estrutura de erro binomial e função de ligação logit. Figura 4A: o gráfico Q-Q dos resíduos observados vs. esperados e o teste de Kolmogorov-Smirnov em relação a uniformidade mostram um bom ajuste do modelo ( $D = 0,056$ ,  $p = 0,212$ ). Figura 4B: o gráfico dos resíduos padronizados vs. valores previstos mostra a uniformidade dos resíduos. Figura 4C: O teste de dispersão e o histograma dos resíduos simulados vs. resíduos observados do modelo ajustado (linha vermelha) não indicam nenhuma sub ou superdispersão nos resíduos (razão de dispersão = 1,087,  $p = 0,28$ ).



## APÊNDICE B – Resumo dos modelos mistos generalizados (glmms)

**Tabela 1** - Resumo dos modelos mistos lineares generalizados (GLMMs) realizados para investigar os efeitos da radiação UVA, UVB, temperatura do ar e luminosidade, sobre a probabilidade de emissão da vocalização dos machos de *Crossodactylus schmidti* para dois períodos: 07:00 às 18:00 e 10:00 às 15:00. Os resultados dos efeitos fixos são apresentados como estimativa média, erro padrão (SE), valor de z e valor de p. Também apresentamos a variância e o desvio padrão (SD) dos efeitos aleatórios, que representa o quanto da variância nos dados é explicada pela variação entre locais, dias e hora do monitoramento da atividade de vocalização. Os valores p em negrito indicam um efeito significativo, e os valores p em itálico indicam um efeito marginalmente significativo.

Parâmetros	Probabilidade de emissão dos cantos							
	Modelo 1 (07:00 às 18:00)				Modelo 2 (10:00 às 15:00)			
	Estimativa	SE	Valor de z	Valor de p	Estimativa	SE	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,424	0,344	-1,232	0,218	-0,478	0,374	-1,276	0,202
UVA acumulada 15 min	0,062	0,073	0,843	0,399	0,078	0,114	0,689	0,491
UVB acumulada 15 min	0,144	0,082	1,740	0,082	0,131	0,120	1,092	0,275
UVA acumulada	-0,002	0,103	-0,015	0,988	-0,252	0,151	-1,677	0,094
UVB acumulada	-0,298	0,102	-2,914	<b>0,004</b>	0,008	0,146	0,056	0,956
Média da temperatura do ar	-0,150	0,079	-1,897	<i>0,058</i>	-0,126	0,111	-1,131	0,258
Média da luminosidade	-0,162	0,096	-1,683	0,092	-0,113	0,129	-0,881	0,378
Efeitos aleatórios	Variância	SD			Variância	SD		
Sítio	0,161	0,401	—	—	0,117	0,342	—	—
Dia	0,941	0,970	—	—	1,545	1,243	—	—
Hora	0,505	0,711	—	—	0,225	0,474	—	—

**Tabela 2** – Resumo dos modelos mistos lineares generalizados (GLMMs) realizados para investigar os efeitos da radiação UVA, UVB, temperatura do ar e luminosidade e número de machos coespecíficos na duração média dos cantos emitidos por machos de *Crossodactylus schmidti* para dois períodos: 07:00 às 18:00, e 10:00 às 15:00. Os resultados dos efeitos fixos são apresentados como estimativa média, erro padrão (SE), valor de z e valor de p. Também apresentamos a variância e o desvio padrão (SD) dos efeitos aleatórios, o que representa o quanto da variância nos dados é explicada pela variação entre locais, dias e hora do monitoramento da atividade de vocalização. Os valores p em negrito indicam um efeito significativo.

Parâmetros	Duração média dos cantos								
	Modelo 1 (07:00 às 18:00)			Modelo 2 (10:00 às 15:00)					
	Estimativa	SE	Valor de z	Estimativa	SE	Valor de z	Estimativa	SE	Valor de z
Intercepto	3,492	0,316	11,039	<0,001		3,452	0,305	11,311	<0,001
UVA acumulada 15 min	0,001	0,044	0,023	0,981		-0,040	0,060	-0,675	0,500
UVB acumulada 15 min	-0,100	0,044	-2,273	<b>0,023</b>		-0,117	0,057	-2,050	<b>0,040</b>
UVA acumulada	-0,001	0,057	-0,016	0,987		0,195	0,084	2,321	<b>0,020</b>
UVB acumulada	0,059	0,057	1,038	0,299		-0,027	0,083	-0,330	0,742
Média da temperatura do ar	0,022	0,049	0,435	0,664		0,036	0,061	0,590	0,555
Média da luminosidade	0,039	0,067	0,589	0,556		0,055	0,065	0,853	0,394
Número de coespecíficos	0,087	0,035	2,495	<b>0,013</b>		0,091	0,045	2,037	<b>0,042</b>
Efeitos aleatórios	Variância	SD				Variância	SD		
Sítio	0,251	0,501	—	—		0,239	0,489	—	—
Dia	0,233	0,483	—	—		0,154	0,393	—	—
Hora	0,112	0,335	—	—		0,054	0,233	—	—

## CONCLUSÕES FINAIS.

– O desenvolvimento de novas tecnologias para o monitoramento da radiação ultravioleta tem se mostrado cada vez mais necessário, devido à importância que esta tem apresentado para a conservação das espécies bem como para a economia e saúde. O equipamento apresentado mostrou-se altamente capaz de suprir estas necessidades, possuindo baixo custo, alta confiabilidade e precisão na coleta de dados, além de ter apresentado resultados significativos nos testes realizados em campo. Existem adaptações que estão sendo planejadas para este equipamento que o tornarão mais intuitivo em relação ao modo como as informações são transmitidas ao usuário e ampliarão ainda mais a sua funcionalidade e suas possibilidades de uso.

– O trabalho permitiu que fosse ampliado o conhecimento sobre a espécie *Crossodactylus schmidtii*, trazendo novas informações sobre fatores ambientais que podem influenciar a comunicação dessa espécie.

– Também foi possível perceber a importância da vegetação ripária como proteção natural contra os efeitos da radiação ultravioleta, já que esta limita sua incidência e reduz seus efeitos sobre a biodiversidade ali instalada.

– Os resultados também permitiram ressaltar a importância das relações sociais de *C. schmidtii* e como estas impactam a sua vocalização.

– Como perspectivas, serão realizadas análises futuras utilizando outros parâmetros acústicos em resposta aos efeitos da radiação ultravioleta, além da geração de novos modelos utilizando conjuntos de dados adicionais, permitindo assim expandir ainda mais a compreensão destes efeitos sobre a espécie estudada.

– A proposta do trabalho como um todo demonstrou que o equipamento desenvolvido durante essa dissertação possui uma grande versatilidade e resistência, permitindo que seja instalado em diversos ambientes. Isto, por sua vez, permite a realização de diversos trabalhos futuros relacionados à radiação ultravioleta.

– Por fim, é importante ressaltar que as gravações de áudio geraram um banco de dados acústico de ~5.000 horas que, certamente, irá proporcionar o desenvolvimento de futuros trabalhos e parcerias.