



Artigo Original


e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v14n22020p386-404


Submetido em: 31 mar. 2020

Aceito em: 07 out. 2020

A presença de Casuarina equisetifolia L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos  <https://orcid.org/0000-0003-0021-0959>

Especialista em Ciências Ambientais em Áreas Costeiras pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro - *Campus* Arraial do Cabo/RJ - Brasil – E-mail: yaghowramos@gmail.com

Fábio Contrera Xavier  <https://orcid.org/0000-0002-7132-0680>

Mestre em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ e Doutorando em Biotecnologia Marinha pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM/UFF) – Arraial do Cabo/RJ - E-mail: fabiofcx@gmail.com

Murilo Minello  <https://orcid.org/0000-0002-3037-9221>

Mestre em Ecologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor de Ecologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) – *Campus* Arraial do Cabo/RJ - E-mail: murilo.minello@ifrj.edu.br

Resumo

O termo Paisagem Acústica surgiu com o objetivo de relacionar a variedade de sons do ambiente (biofonia, geofonia e antropofonia) e sua influência sobre os processos ecológicos com o conceito tradicional de paisagem. O objetivo deste trabalho consiste na comparação da complexidade acústica de uma área de restinga preservada e uma área de vegetação dominada por *Casuarina equisetifolia* L. no Município de Cabo Frio/RJ. As gravações foram obtidas a partir de um sistema autônomo, analisados através do *software Raven Pro 1.5*; e os valores de complexidade acústica foram calculados utilizando o Índice de Complexidade Acústica (ACI), a partir do *software R 3.6 version*. Os resultados sugerem maior número de registros de biofonia e, conseqüentemente, maior complexidade acústica na área de restinga, sobretudo durante o anoitecer. Os valores de ACI obtidos traduzem uma alteração, estatisticamente significativa, entre a paisagem acústica da área de restinga preservada e a área das casuarinas, diante da redução da diversidade da vegetação. Por meio do estudo das paisagens acústicas buscou-se entender as complexas redes de interações ecológicas, servindo de base para tomada de decisões, no que diz respeito ao gerenciamento ambiental.

Palavras-chave: Ecologia Acústica. Índice de Complexidade Acústica. APA do Pau-Brasil. Introdução de Espécies Exóticas.

Can the presence of Casuarina equisetifolia L. alter the soundscape of a restinga area?

Abstract

The term Soundscape emerged with the aim of relating to the variety of sounds in the environment (biophony, geophony and anthrophony) and their influence on ecological processes with the traditional concept of landscape. The objective of this work is to compare the acoustic complexity of a preserved restinga area and an area of vegetation dominated by *Casuarina equisetifolia* L. in the city of Cabo Frio/RJ. The recordings were obtained from an autonomous system, analyzed using the Raven Pro 1.5 software and the acoustic complexity values were calculated using an Acoustic Complexity Index (ACI), using the R 3.6 version software. The results suggest a greater number of biophonic records and, consequently, greater acoustic complexity in the restinga area, especially during dusk. The ACI values obtained reflect a statistically significant change between the soundscape of the preserved restinga area and the casuarinas area, given the reduction in vegetation diversity. Through the study of soundscapes, we seek to understand the complex networks of ecological interactions, serving as a basis for decision making, with regard to environmental management.

Keywords: Acoustic Ecology. Acoustic Complexity Index. APA Pau-Brasil. Introduction of exotic species.



¿Puede la presencia de *Casuarina equisetifolia* L. cambiar el paisaje acústico de un área de restinga?

Resumen

El término Paisaje acústico surgió con el objetivo de relacionarse con la variedad de sonidos en el medio ambiente (biofonía, geofonía y antropofonía) y su influencia en los procesos ecológicos con el concepto tradicional de paisaje. El objetivo de este trabajo es comparar la complejidad acústica de un área de banco de arena preservada y un área de vegetación dominada por *Casuarina equisetifolia* L. en la ciudad de Cabo Frio / RJ. Las grabaciones se obtuvieron de un sistema autónomo, se analizaron utilizando el software Raven Pro 1.5 y los valores de complejidad acústica se calcularon utilizando un Índice de Complejidad Acústica (ACI), utilizando el software versión R 3.6. Los resultados sugieren una mayor cantidad de registros biofónicos y, en consecuencia, una mayor complejidad acústica en el área del banco de arena, especialmente durante el anochecer. Los valores de ACI obtenidos reflejan un cambio estadísticamente significativo entre el paisaje acústico del área de bancos de arena preservados y el área de casuarinas, dada la reducción en la diversidad de la vegetación. A través del estudio de los paisajes acústicos, buscamos comprender las complejas redes de interacciones ecológicas, que sirven como base para la toma de decisiones, con respecto a la gestión ambiental.

Palabras clave: Ecología Acústica. Índice de Complejidad Acústica. APA Pau-Brasil. Introducción de especies exóticas.



A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

1 Introdução

O termo Paisagem Acústica (paisagem sonora ou *soundscape*, em inglês) surgiu com o objetivo de relacionar a variedade de sons do ambiente e sua influência sobre os processos ecológicos com o conceito tradicional de paisagem (GUIMARÃES; TINOCO, 2016; PIJANOWSKI *et al.*, 2011). As paisagens acústicas foram descritas por Krause (1987) como diferentes e complexos arranjos de sons biológicos, abióticos e sons oriundos de atividades humanas. Estes sons foram categorizados a partir da fonte de emissão como biofonia, geofonia e antropofonia, respectivamente (FARINA, 2014; PIJANOWSKI *et al.*, 2011).

Os arranjos complexos de sons em diferentes paisagens sonoras criam assinaturas acústicas particulares (FARINA, 2014; PIERETTI; FARINA; MORRI, 2011). Conforme a Hipótese do Nicho Acústico (*Acoustic Niche Hypothesis* – ANH), introduzida por Krause (1987), a competição interespecífica pelo mesmo espaço acústico levaria as espécies com sinais acústicos semelhantes a ajustarem seus chamados. A adaptação ocorreria através da ocupação de nichos “vagos” no espectro sonoro, minimizando as sobreposições e, assim, reduzindo a disputa entre essas. Os organismos com capacidade de vocalização ou emissão de algum sinal sonoro evoluíram ao longo de milhares de anos, e a ocupação acústica da biodiversidade em um determinado nicho acústico ocorre visando ao sucesso de emissão e recepção de comunicação, diminuindo o gasto energético (FARINA, 2014).

1.1 Caracterização dos ambientes de restinga

O termo “restinga” tem sido genericamente utilizado para se referir ao conjunto de formações geomorfológicas litorâneas e às diferentes comunidades biológicas que ocupam as planícies sedimentares arenosas, que se formaram em consequência das transgressões e regressões marinhas (ARAÚJO; LACERDA, 1987). A vegetação de restinga apresenta-se associada ao Bioma de Mata Atlântica e, no estado do Rio de Janeiro, conforme o estabelecido nas resoluções nº 417/2009 e 453/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, englobam comunidades vegetais distribuídas em mosaico, com diferentes perfis fisionômicos sob a influência marinha, flúvio-marinha e da natureza do solo. Essas formações são encontradas em áreas de praias, cordões arenosos, dunas, depressões e áreas de transição para ambientes adjacentes, apresentando estrato herbáceo, arbustivo ou arbóreo (CONAMA, 2009, 2012). Nos ambientes de restinga, diferentes condições abióticas, como o excesso de radiação solar, temperaturas elevadas e alta salinidade oriunda da influência do mar sobre esses ecossistemas exigem determinadas adaptações morfológicas ou fisiológicas da vegetação que permitam sua sobrevivência (AZEVEDO *et al.*, 2014).

1.2 Estudo das paisagens acústicas

Uma análise bibliométrica sobre os estudos em paisagem acústica no cenário mundial, realizada em base de dados de literatura científica, aponta para um crescimento significativo no número de publicações nos últimos trinta anos, cujo maior percentual concentra-se entre os anos de 2014 e 2018. Entre os países relacionados ao tema, destacam-se os Estados Unidos e os países europeus com maior frequência de publicação. O Brasil ainda representa



A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

uma parcela reduzida desse total, sendo algumas dessas pesquisas realizadas em coautoria com outros países (RAMOS; MINELLO; XAVIER, 2020).

Mediante análise e compreensão das paisagens acústicas, buscaram-se informações que auxiliem no planejamento e nas políticas de gestão ambiental com o objetivo de promover ações de preservação e conservação de áreas naturais (PIJANOWSKI *et al.*, 2011; VIELLIARD; SILVA, 2010). A aplicação do Índice de Complexidade Acústica, desenvolvido por Farina e Morri, representa uma medida que permite verificar alterações na paisagem acústica, monitorar a biodiversidade e compreender os impactos da antropofonia sobre a biofonia (PIERETTI; FARINA; MORRI, 2011). Diante disso, o som representa uma ferramenta de pesquisa que permite registro à distância, de forma remota e não invasiva (BLUMSTEIN *et al.*, 2011).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho consiste na comparação da complexidade acústica de uma área de restinga preservada e uma área de vegetação dominada por espécie exótica no Município de Cabo Frio/RJ. O Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio (RJ) é descrito como maior centro de diversidade florística do litoral fluminense, abrangendo extensas áreas de restinga (ARAÚJO *et al.*, 2009). Um dos principais problemas associados à perda de diversidade vegetal na região é a introdução de espécies exóticas, entre elas, a invasão de *Casuarina equisetifolia* L., (nome popular: casuarina), principalmente em áreas impactadas pela ação humana (BOHRER *et al.*, 2009). Em seu trabalho na região de Arraial do Cabo/RJ, Zimmermann (2016) aponta o potencial alelopático da espécie como um fator responsável pela baixa regeneração natural nas áreas invadidas e a grande produção de serapilheira que atua como barreira física, limitando a germinação de sementes e o crescimento de plântulas.

A hipótese nula (H_0) deste trabalho é que não há diferença entre a paisagem acústica da área das casuarinas e a área de restinga. A hipótese alternativa (H_1) é que há alteração entre a paisagem acústica da área das casuarinas e a área de restinga preservada, diante da transformação da diversidade de plantas nativas pela introdução da casuarina na região. Sendo as áreas de casuarina consideradas menos ricas, acredita-se que tais áreas sejam menos atrativas à fauna. Portanto, a redução da diversidade da vegetação é acompanhada da redução da diversidade de fauna, refletindo-se, assim, na redução da biofonia. As possíveis diferenças entre os elementos da paisagem acústica se darão, de forma qualitativa, pela análise audiovisual primária dos espectrogramas obtidos e pela identificação de diferentes espécies; e, de forma quantitativa, por meio da análise do índice acústico de cada ambiente.

2 Material e Método

2.1 Área de Estudo

O município de Cabo Frio faz parte da Região dos Lagos, mesorregião das Baixadas Litorâneas do estado do Rio de Janeiro, tendo toda a costa banhada pelo Oceano Atlântico, sendo caracterizada pelo grande número de praias e pontos turísticos (IBGE, 2019). A Região dos Lagos vem apresentando um crescimento populacional acentuado nas últimas décadas, incluindo Cabo Frio, com o desenvolvimento da indústria do sal, da pesca, e, sobretudo, pela implantação da rodovia e da estrada de ferro. Também por sua transformação em importante ponto turístico e pela fixação da Companhia Nacional Alcalis. A companhia instalada definitivamente em 1960 no Arraial do Cabo, antigo distrito de Cabo Frio, recebeu emancipação em 1985, tendo atraído um contingente significativo de mão de obra na época, até o encerramento de suas atividades em 2006 (FEEMA, 1988; IBGE, 2019; PEREIRA, 2009).

A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

O clima local é classificado como semiárido quente, Köppen BSh, caracterizado por precipitações fracas (em média 770 e 854 mm/ano), com temperatura média anual de 23°C e insolação variando entre 200 e 240h/mês (BARBIERI, 1975, 1984). Classificou-se a região como enclave semiárido em meio às condições circundantes essencialmente tropicais (BARBIERI, 1999 *apud* ARAUJO *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2008). O perfil climático, distinto do da região quando comparado ao resto do estado, deve-se à topografia, à distância da Serra do Mar e à ocorrência do fenômeno da ressurgência, que determina mudanças na temperatura e umidade do ar, centrado nessa região da costa (FEEMA, 1988).

A área de estudo está situada dentro dos limites da APA do Pau-Brasil, em Cabo Frio, em áreas adjacentes de vegetação que se encontram em uma localidade conhecida como Dunas do Perú. Os pontos de coleta se localizam nas proximidades de uma Zona de Ocupação Controlada – ZOC, com adensamento urbano a aproximadamente 800 metros de distância, em média. A primeira área caracteriza-se como vegetação de restinga arbustiva aberta (Área 1) e a segunda área, como vegetação de casuarina – *Casuarina equisetifolia* – (Área 2) (Figura 1).

Figura 1. Imagem de satélite das áreas de estudo, nas Dunas do Perú – Cabo Frio/RJ



Legenda: Área 1 – Vegetação de Restinga preservada (em verde) – (22°49'55.56"S / 41°58'54.10"O) / Área 2 – Vegetação de Casuarina (em roxo) – (22°50'45.38"S / 41°59'28.23"O).

Fonte: Software Google Earth (2019)

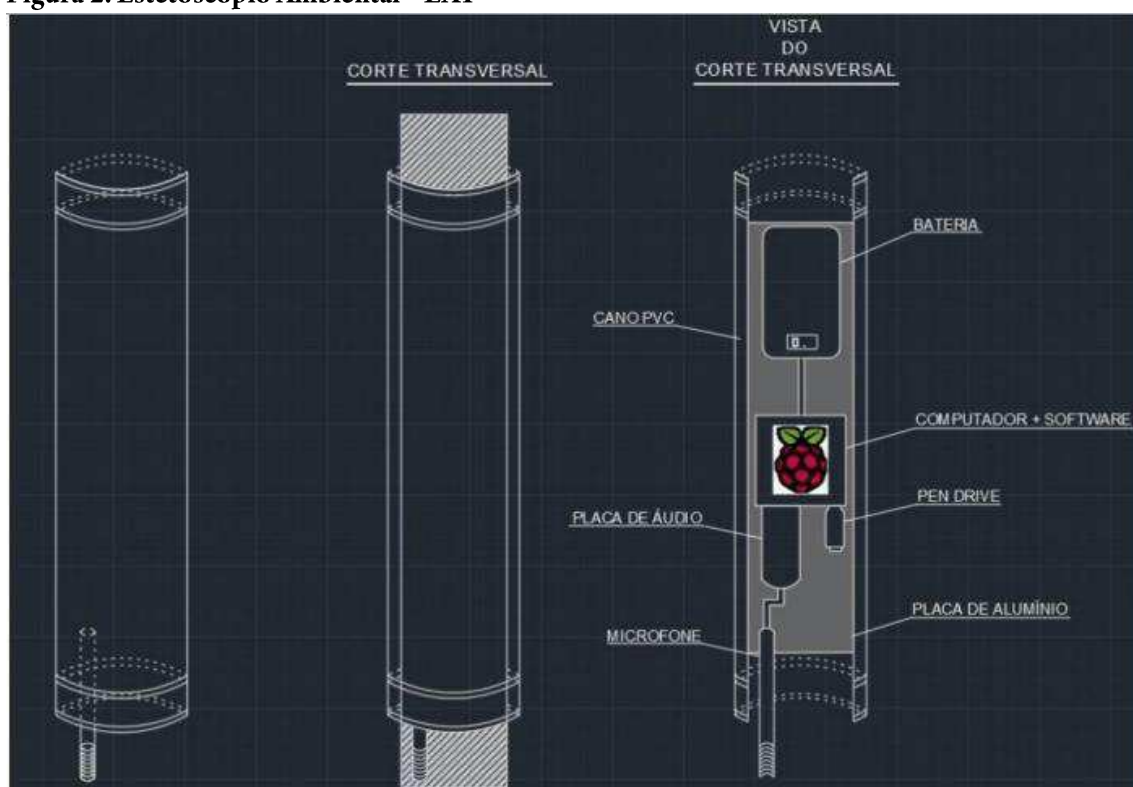
A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

2.2 Equipamento de coleta

O equipamento de coleta de dados consiste em um sistema autônomo desenvolvido para aquisição de sinais acústicos denominado Estetoscópio Ambiental (EA-2), desenvolvido a partir do sistema de coleta EA-1 descrito no trabalho de Jesús *et al.* (2019) – (Figura 2). O EA-2 é composto por um microfone *Yoga* HT-320 com cápsula condensada e resposta de frequência *flat* entre 100 e 1600 Hz, uma placa de áudio da marca *Creative* SB1730 *Sound Blaster*, modelo *Play!3* (Qualidade de 48kHz), um microcomputador da marca *Raspberry* PI Modelo 3-B Quadcore e dois *powerbanks* da marca *Pineng*, modelo PN-999, 20000 mAh e saída 5V 2.1^a – (Figura 3).

Figura 2. Estetoscópio Ambiental – EA1



Fonte: Jesús, Minello e Xavier (2019)

A presença de Casuarina equisetifolia L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

Figura 3. Fases de montagem do Estetoscópio Ambiental 2



Fonte: Os autores (2019).

O sistema foi acoplado em um molde de madeira, para fornecer apoio e evitar choques mecânicos, inserido em uma estrutura plástica de dimensões 32x12x30cm. Um corte foi feito na tampa de modo a adaptá-la para saída do microfone e cabo conector. O equipamento finalizado possui aproximadamente 1,5kg e 48cm de comprimento. O *software* do EA-2 possui linguagem de script e utiliza uma ferramenta do Linux que permite o agendamento de comandos para aquisição dos áudios.

2.3 Coleta e análise de dados

Os dados acústicos foram obtidos a partir da instalação do EA-2 em duas áreas com diferentes tipos de vegetação. As Dunas do Perú foram selecionadas para realização do estudo dada a proximidade entre ambos os perfis de vegetação e a distância considerável dos adensamentos urbanos. O equipamento foi instalado em ambas as áreas com o microfone voltado para cima, em um ponto sem contato com outros galhos, para evitar pancadas que poderiam gerar ruídos desnecessários, fixado com fita elástica de borracha à vegetação, levando-se em conta a altura da vegetação em cada área. Na Área 1, o EA-2 foi instalado em um arbusto, à aproximadamente 20cm do solo,

A presença de Casuarina equisetifolia L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

enquanto, na Área 2, o equipamento foi fixado no tronco de uma árvore de casuarina, a cerca de 50cm do solo, de acordo com os diferentes portes apresentados pela vegetação (Figura 4 e Figura 5).

Figura 4. Instalação do EA-2 na área 1 – Vegetação de restinga preservada



Fonte: Os autores (2019)

Figura 5. Instalação do EA-2 na área 2 – Vegetação de casuarina



Fonte: Os autores (2019)

O EA-2 foi programado de modo a realizar gravações com duração de 1 minuto em intervalos de 5 minutos (12 min/h), e os áudios foram armazenados em uma memória interna. As primeiras gravações efetivas foram realizadas na Área 2 (vegetação de casuarina) no intervalo entre a tarde do dia 21 de novembro de 2019 e a manhã



A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

do dia 22 de novembro de 2019. Em seguida, os áudios foram gravados na Área 1 (vegetação de restinga) no intervalo entre a tarde do dia 22 de novembro de 2019 e a manhã do dia 23 de novembro de 2019.

Tendo em conta os áudios gravados nas duas áreas, nesta análise foram consideradas as gravações obtidas entre dois períodos denominados: anoitecer (no intervalo entre 17:30h e 22:30h) e amanhecer (no intervalo entre 03:30h e 08:30h). As gravações representam um período de 10 horas de análise para cada área e aproximadamente 4 horas (240min) de gravação no total. O recorte permite uma adequação dos dados para posteriores comparações (Tabela 1).

Tabela 1. Organização dos dados acústicos em diferentes grupos para análise

Período	Ambiente	Intervalo de gravação	Data	Gravações totais (min)
Anoitecer	Casuarina	17:30h - 22:30h	21/11/2019	60
Amanhecer	Casuarina	03:30h - 08:30h	22/11/2019	60
Anoitecer	Restinga	17:30h - 22:30h	22/11/2019	60
Amanhecer	Restinga	03:30h - 08:30h	23/11/2019	60

Fonte: Os autores (2019)

Após a retirada do equipamento dos locais de coleta, os dados acústicos foram recuperados e transferidos para o computador para análise através do *software Raven Pro 1.5*, para elaboração de espectrogramas e análise das paisagens acústicas (BIOACOUSTICS RESEARCH PROGRAM, 2014). Os áudios foram reproduzidos com ampliação de 30dB para correlação audiovisual e caracterização primária das paisagens acústicas observadas. O *software R 3.6 version* foi utilizado para calcular o Índice de Complexidade Acústica (ACI) de cada registro sonoro utilizando o pacote *Soundecology* (R CORE TEAM, 2019). Foram consideradas todas as gravações dentro dos períodos estipulados, em um intervalo de frequência entre 100 e 20.000 Hz, valor do algoritmo para processamento digital de sinais (FFT = 1024) e tamanho do cluster ($j = 5$ segundos). Os dados obtidos foram submetidos ao Teste de *Kruskal-Wallis*, para uma análise estatística, utilizando o *software Bioestat* versão 5.3 (AYRES *et al.*, 2007).

2.4 Fórmula: ACI (Índice de Complexidade Acústica)

Utilizando o pacote *Soundecology* do *Software R*, foram calculados os valores de complexidade acústica para cada áudio coletado dentro do período estipulado por este trabalho. O Índice de Complexidade Acústica, elaborado por Farina e Morri, é calculado através da diferença absoluta (dk) entre dois valores adjacentes da intensidade (I_k e $I_{(k+1)}$), dentro de determinadas caixas de frequência (Δfl) e intervalos temporais no espectrograma (PIERETTI; FARINA; MORRI, 2011).

$$ACI = D / \sum_{k=1}^n I_k \quad (1)$$

Em que: $D = \sum_{k=1}^n dk$ (contidas em j).



A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

Posteriormente, o ACI trabalhado em todas as etapas temporais (j) e para todos os compartimentos de frequência incluídos resultam no valor total do índice para toda a gravação.

3 Resultados

Os espectrogramas são representações gráficas que analisam a densidade espectral de energia, juntamente com as variações de tempo e frequência. Os espectrogramas obtidos a partir do *software Raven 1.5* apresentam as variáveis de tempo no eixo *x*, a frequência acústica no eixo *y*, e a intensidade dos sinais acústicos são dadas por variações de cor dentro do espectro visível.

Os dados coletados correspondem a 244 arquivos de áudio, divididos em quatro grupos baseados na área e no período de gravação: Casuarina-Anoitecer / Casuarina-Amanhecer / Restinga-Anoitecer / Restinga-Amanhecer. Com base em uma análise audiovisual dos arquivos por meio da interpretação dos espectrogramas, os principais registros foram identificados (Quadro 1).

Quadro 1. Principais registros acústicos organizados por área e período de análise

Grupo / Registro	Biofonia	Geofonia	Antropofonia
Casuarina-Anoitecer	Bem-te-vi (<i>Pitangus sulphuratus</i>), outro pássaro, inseto e registro não classificado	Ventos intensos	--
Casuarina-Amanhecer	Bem-te-vi (<i>Pitangus sulphuratus</i>), Anu-branco (<i>Guira guira</i>) e Quero-quero (<i>Vanellus chilensis</i>), outros pássaros e insetos	Vento	--
Restinga-Anoitecer	Cigarra, anfíbio, morcego e insetos diversos	Ventos intensos	--
Restinga-Amanhecer	Insetos diversos, anfíbios e mico-leão-dourado (<i>Leontopithecus rosalia</i>)	Vento	Moto, outros veículos e fogos de artifício

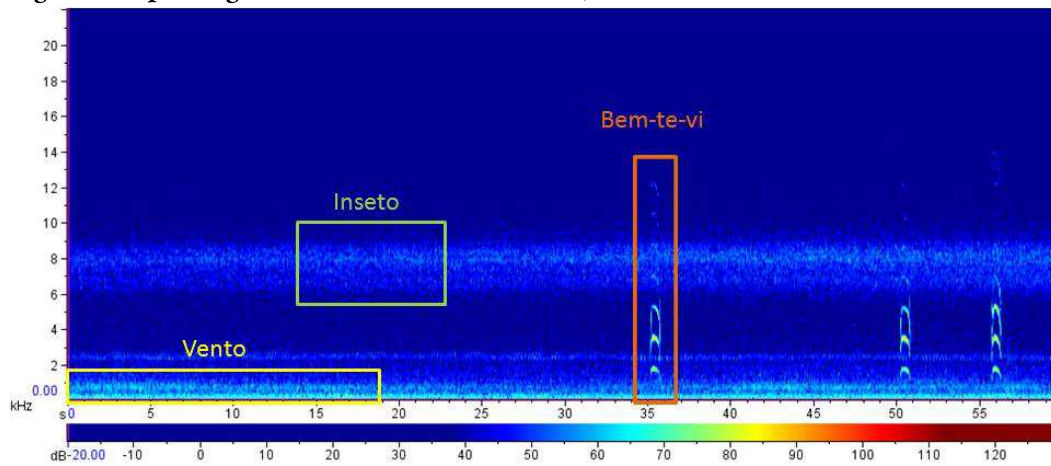
Fonte: Os autores (2019)

Os diferentes registros foram identificados a partir dos espectrogramas elaborados pelo programa *Raven*. O programa desenvolvido pela Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, facilita a análise, pois permite selecionar cada assinatura acústica para reprodução dos áudios em intervalos isolados, diante de muitas fontes sonoras que podem compor uma paisagem acústica.

Entre os dados obtidos na vegetação de casuarina, durante o período de anoitecer, foram identificados sinais acústicos de insetos, de um Bem-te-vi (*Pitangus sulphuratus*) e o som do vento, na faixa até 1 kHz (Figura 6). No mesmo dia, pôde-se verificar a presença de um registro fraco, na faixa entre 1 e 4 kHz, não sendo identificado o tipo de fonte de emissão (Figura 7). Durante o período de amanhecer, registrou-se o canto repetido de Bem-te-vi, juntamente com o som de insetos (Figura 8). A assinatura acústica do Bem-te-vi se mostra diferente de outras assinaturas registradas em razão da diferença no padrão de canto apresentado pela espécie. Também foram registrados cantos de pássaros diversos, de forma intercalada, identificados como Anu-branco (*Guira guira*) e Quero-quero (*Vanellus chilensis*) (Figura 9). Ao longo das primeiras horas após o nascer do sol, observou-se uma diminuição dos registros de pássaros em geral na área das casuarinas, os quais passaram a ser menos frequentes.

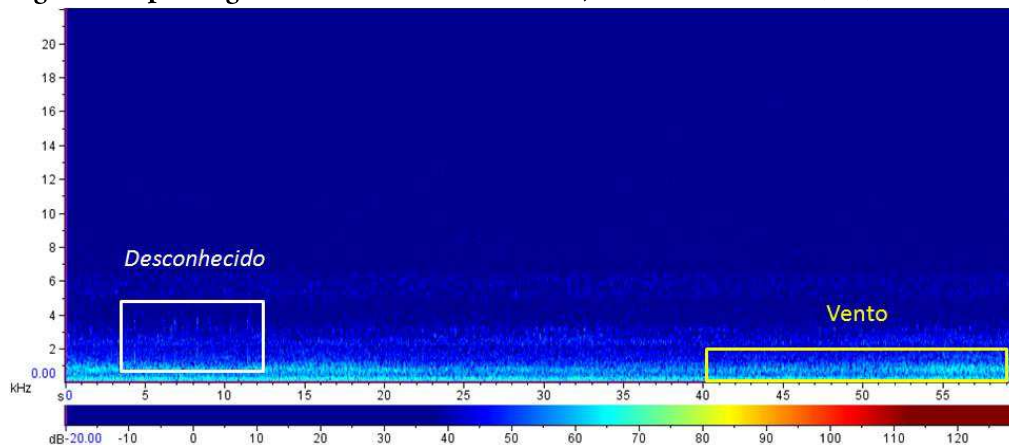
A presença de Casuarina equisetifolia L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?
Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

Figura 6. Espectrograma da Casuarina-Anoitecer, às 17:45h do dia 21/11/2019



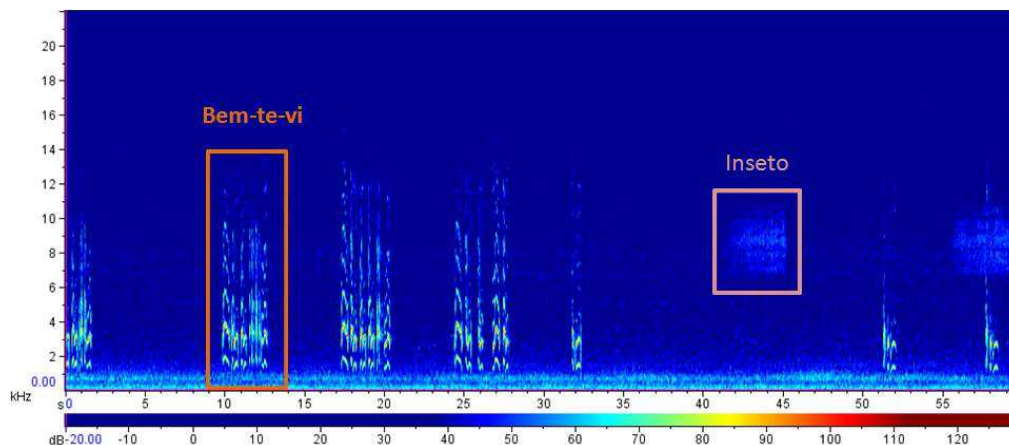
Fonte: Os autores (2019)

Figura 7. Espectrograma da Casuarina-Anoitecer, às 20:40h do dia 21/11/2019



Fonte: Os autores (2019)

Figura 8. Espectrograma da Casuarina-Amanhecer, às 03:50h do dia 22/11/2019

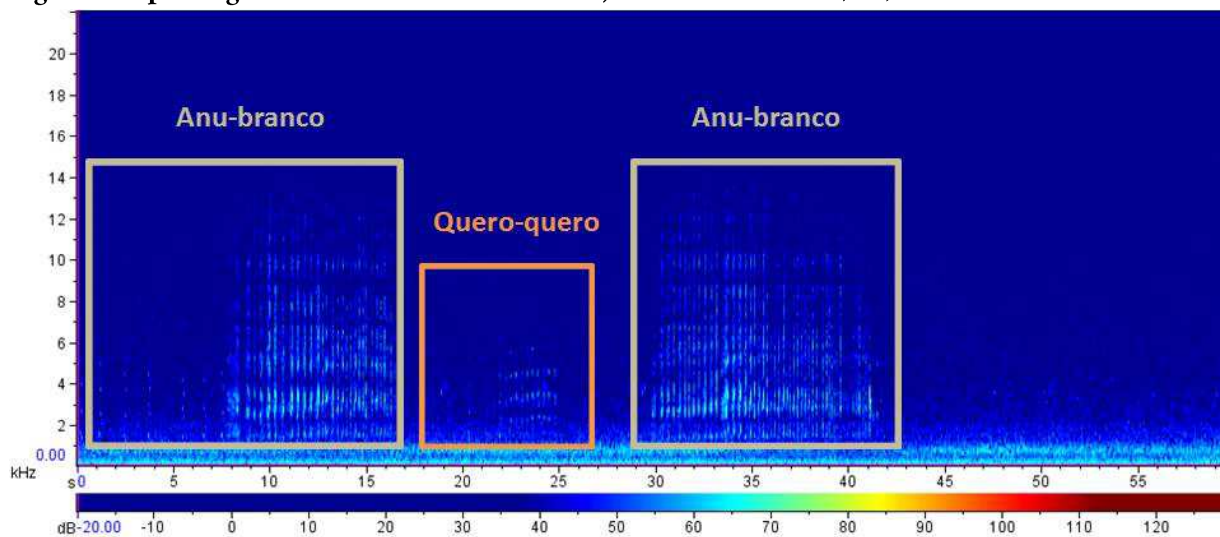


Fonte: Os autores (2019)

A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

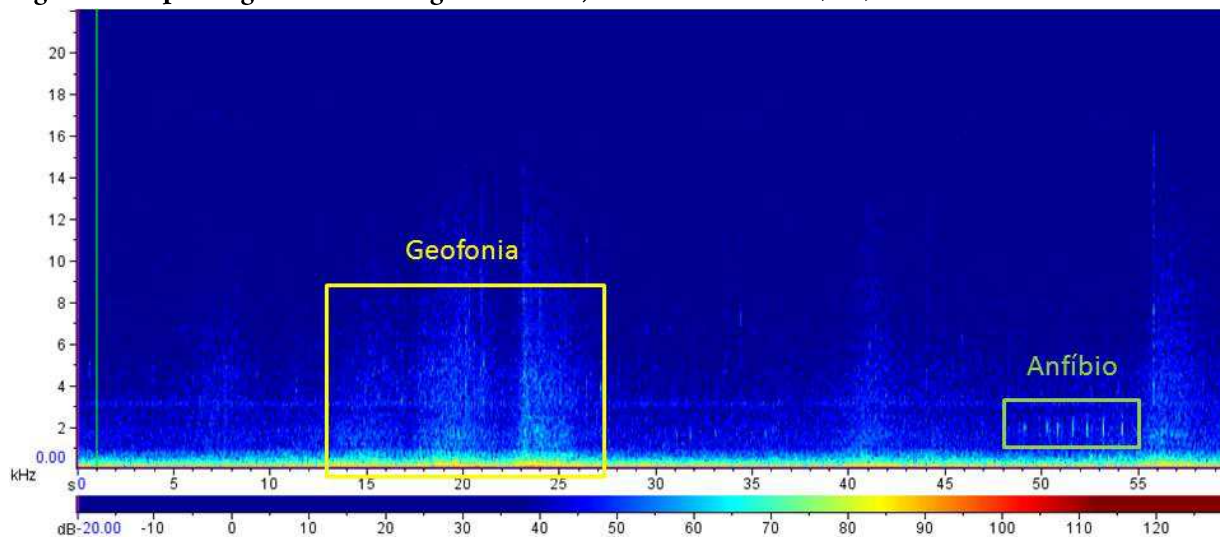
Figura 9. Espectrograma da Casuarina-Amanhecer, às 04:10h do dia 22/11/2019



Fonte: Os autores (2019)

Na área de vegetação de restinga verificou-se a presença de ventos mais intensos, ultrapassando a faixa de 1 kHz, juntamente com um som, aparentemente de um anfíbio, na faixa entre 1 e 3kHz (Figura 10). Em seguida, durante o anoitecer, foram registrados vários sons de origem biofônica, tais como a assinatura acústica de diversos insetos e de morcegos (Figura 11). Entre as gravações classificadas como Restinga-Amanhecer, verificou-se grande número de registros de biofonia e antropofonia, sendo possível identificar duas assinaturas acústicas de anfíbios e de insetos. Outro registro, na faixa até 1 kHz, correspondente ao ruído produzido por uma moto, representando um som associado à atividade humana (Figura 12). Durante o amanhecer, às 06:00h foi registrada uma assinatura acústica de origem biológica correspondente ao mico-leão-dourado (*Leontopithecus rosalia*) (Figura 13), espécie endêmica da Mata Atlântica e sob perigo de extinção (EN – pelos critérios B2ab(iii)) (IUCN, 2008).

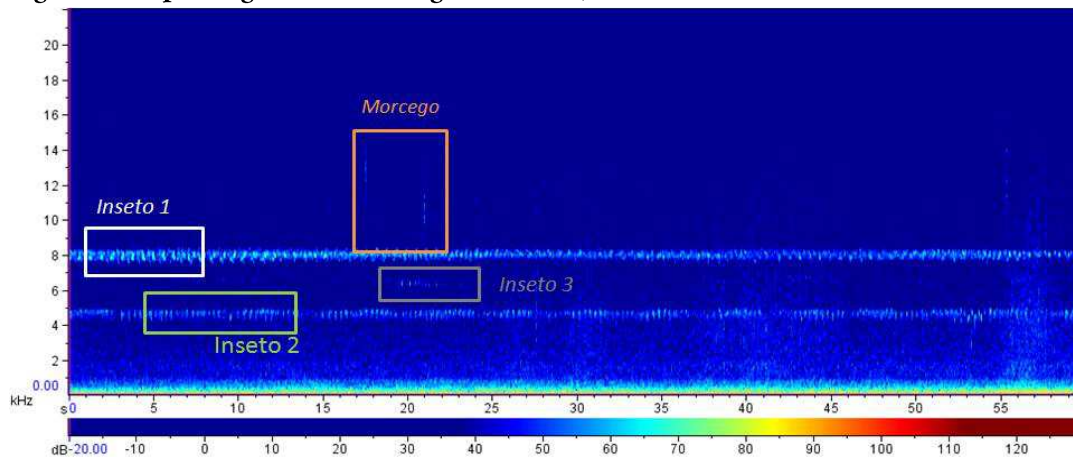
Figura 10. Espectrograma da Restinga-Anoitecer, às 17:35h do dia 22/11/2019



Fonte: Os autores (2019)

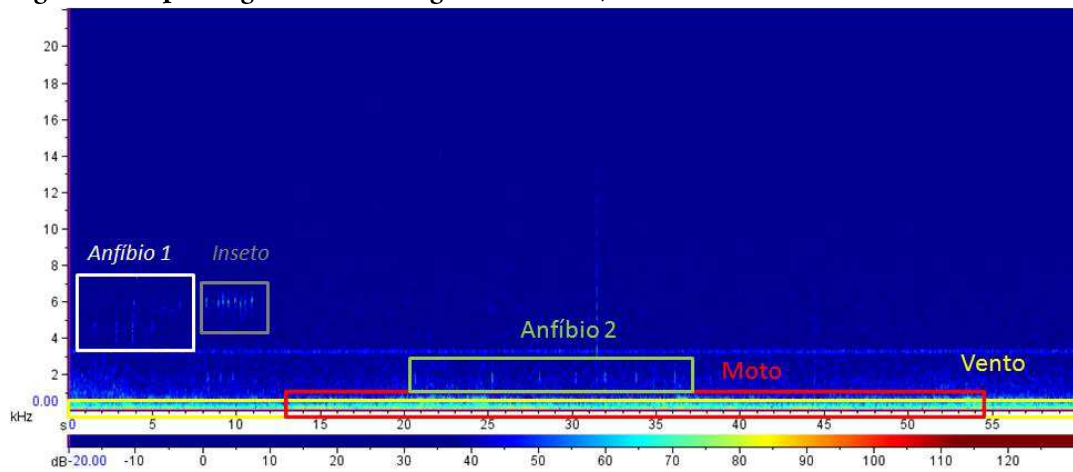
A presença de Casuarina equisetifolia L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga? Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

Figura 11. Espectrograma da Restinga-Anoitecer, às 19:10h do dia 22/11/2019



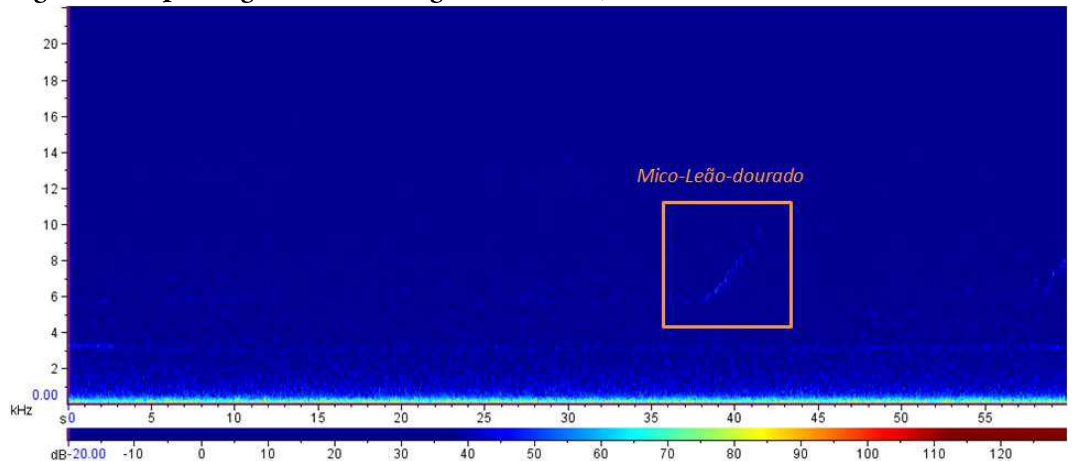
Fonte: Os autores (2019)

Figura 12. Espectrograma da Restinga-Amanhecer, às 04:50h do dia 23/11/2019



Fonte: Os autores (2019)

Figura 13. Espectrograma da Restinga-Amanhecer, às 06:00h do dia 23/11/2019



Fonte: Os autores (2019)

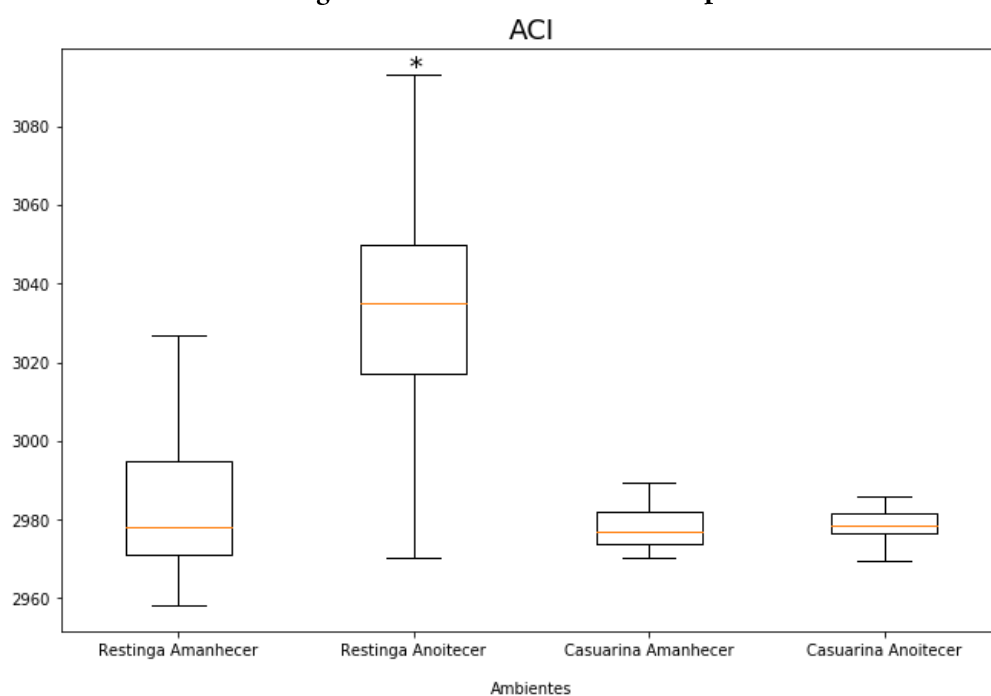
A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

A análise quantitativa dos dados acústicos foi realizada através do ACI calculado para cada gravação obtida dentro do período de coleta, utilizando o pacote *Soundecology* do Programa R. O índice de complexidade fundamenta-se no pressuposto de que a emissão acústica de uma comunidade aumenta, em anuência com o aumento do número de vocalizações de diferentes espécies e, conseqüentemente, sua complexidade (SUEUR *et al.*, 2014). O índice foi criado baseado na hipótese de que sons bióticos são caracterizados por uma variedade intrínseca de intensidades, enquanto a geofonia e a antropofonia apresentam valores relativamente constantes. O ACI é calculado com base em uma matriz de intensidades extrapoladas do espectrograma, dividido em intervalos de tempo e bandas de frequência, calculando-se a diferença absoluta entre dois valores adjacentes de intensidade (PIERETTI; FARINA; MORRI, 2011).

Os valores de complexidade acústica para os áudios coletados, gerados no R, foram importados e organizados por área e período de gravação, cuja variação de dados é representada por meio de quartis (Figura 14). Em seguida, são apresentados os respectivos valores de média e mediana (medidas de tendência central) e desvio-padrão (medida de dispersão) para os dados registrados (Tabela 2). Os valores de ACI obtidos foram submetidos a uma análise estatística através do programa *Bioestat* versão 5.3 utilizando o teste de *Kruskal-Wallis*, para análise de variância de dados não normais, para $p < 0,05$. Primeiramente, todos os dados foram organizados em quatro grupos (Restinga-Amanhecer, Restinga-Anoitecer, Casuarina-Amanhecer e Casuarina-Anoitecer) e comparados através do teste de comparações múltiplas de *Dunn* (graus de liberdade = 3). Posteriormente, todos os dados foram organizados em dois grupos (Restinga e Casuarina) e submetidos ao mesmo teste, a fim de se comparar os registros acústicos coletados na área de vegetação de restinga preservada e na área com dominância das casuarinas (grau de liberdade = 1).

Figura 14. Variação dos valores de ACI (Índice de Complexidade Acústica) calculados para os períodos de amanhecer e anoitecer em área de restinga e área densamente colonizada por casuarina



Nota: (*) Restinga-Anoitecer com diferença significativa comparado aos demais ($p < 0,05$).

Fonte: Os autores



*A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?*

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

Tabela 2. Medidas de tendência central e desvio-padrão para os valores de ACI (Índice de Complexidade Acústica) de cada área e período de gravação

Grupo/Registro	Média	Desvio	Mediana
Restinga-Amanhecer	3000,65	73,74	2978,04
Restinga-Anoitecer	3036,15	30,83	3035,02
Casuarina-Amanhecer	2995,11	78,42	2976,75
Casuarina-Anoitecer	2977,57	10,42	2978,48

Fonte: Os autores

Aplicando o Índice de Complexidade Acústica (ACI) aos áudios coletados, pode-se observar que as maiores variações entre os limites representados correspondem ao ambiente de restinga, sendo os maiores valores de média e mediana atribuídos ao período do anoitecer. Esses valores podem refletir o comportamento noturno de diversos representantes da fauna como adaptação diante das altas temperaturas e incidência solar nesse ambiente. As menores variações dos valores de complexidade acústica registrados correspondem à área de vegetação de casuarinas, excepcionalmente durante o anoitecer. Os períodos de amanhecer em ambos os ambientes se destacam pelos altos valores de desvio-padrão, indicando um maior grau de dispersão dos dados, enquanto os registros durante o anoitecer expressam menores valores de desvio, evidenciando uma maior homogeneidade dos dados.

A partir dos cálculos estatísticos, constata-se uma diferença significativa entre a paisagem acústica do anoitecer na restinga e a paisagem do amanhecer na restinga, entre o anoitecer da restinga e o amanhecer na área das casuarinas e entre o anoitecer na restinga e o anoitecer na área das casuarinas. Estatisticamente, não se constata diferença significativa entre o amanhecer na restinga e o amanhecer e o anoitecer na área das casuarinas. Posteriormente, comparando as duas áreas de vegetação, constata-se diferença significativa entre as paisagens acústicas da restinga e da área das casuarinas.

Através da análise qualitativa e quantitativa realizada, sugere-se uma maior complexidade acústica das áreas de restinga preservada, em concordância com o maior registro da biofonia. Associando a vegetação de casuarina com a atividade de monocultura, acerca da qual Davidson (1985) argumenta que a introdução de florestas de eucalipto em áreas de floresta nativa reduz evidentemente a variedade da fauna, sugere-se que a menor complexidade acústica e consequentemente a menor biofonia registradas na área das casuarinas estejam relacionadas ao perfil da vegetação. Poore e Fries (1985) afirmam que as florestas compostas de espécies exóticas abrigam menor variedade de herbívoros que as coberturas vegetais que substituem, geralmente por fornecerem menor variedade de alimentos, em função da predominância de uma única espécie. O estabelecimento das casuarinas e seu potencial de supressão da vegetação de restinga condicionam um microambiente excepcionalmente contrastante com as áreas de vegetação nativa adjacentes, o que resulta em mudanças expressivas na paisagem acústica.

4 Considerações finais

Mediante uma análise audiovisual dos espectrogramas, foram identificadas diferentes assinaturas acústicas de biofonia, assim como elementos da geofonia e antropofonia. Observou-se, nos áudios analisados, que as fontes



A presença de Casuarina equisetifolia L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

sonoras associadas à geofonia e à antropofonia ocupam constantemente faixas de frequência até 1 kHz, enquanto diferentes assinaturas de biofonia ocupam determinadas faixas aproximadamente entre 2 e 14 kHz. A ocupação evidenciada de diferentes faixas sonoras por determinadas espécies demonstra concordância com a Hipótese do Nicho Acústico proposta por Krause (1987).

Na vegetação de casuarina, entre os registros de biofonia, houve predominância de pássaros, principalmente do bem-te-vi (*Pitangus sulphuratus*) e do anu-branco (*Guira guira*), excepcionalmente durante o período do amanhecer, sugerindo essa área como zona de passagem dos pássaros para a área da restinga, considerando os registros não significativos nos demais horários. Apoiar-se, também, a ideia de que os pássaros possam usar as árvores de casuarina como “poleiros” para marcação de território através do canto, diante do maior porte da vegetação. Outro ponto observado em campo é a proximidade da área das casuarinas com áreas descampadas e de vegetação rasteira habitadas por pássaros como o quero-quero (*Vanellus chilensis*), cujo canto também foi captado. Durante o período de anoitecer, foram registrados e identificados poucos sinais de origem biológica, prevalecendo os sons da geofonia (vento).

Ressalta-se que a caracterização de caráter primário realizada refere-se às paisagens acústicas dos áudios obtidos nos períodos de coleta, sendo necessário um monitoramento prolongado e uma pesquisa aprofundada para caracterização definitiva das paisagens acústicas das áreas estudadas. As gravações foram, devido à limitação de tempo, realizadas ao longo de apenas três dias, e de forma não simultânea, dada a limitação de recursos para desenvolvimento de outro equipamento de coleta.

Neste trabalho, a utilização do Índice de Complexidade Acústica (ACI) representou uma ferramenta útil para determinar mudanças no comportamento e na composição de comunidades, a partir da análise das paisagens acústicas. Assim, com base na análise estatística dos dados acústicos coletados, não se descarta a hipótese alternativa (H_1) de que há alteração entre a paisagem acústica da área das casuarinas e a área de restinga preservada. Essa transformação da vegetação pode estar associada à alteração da dinâmica e composição da fauna, visto que a diversidade de plantas nativas ofereceria maior disponibilidade de frutos, recursos e microhabitats. Contudo, os registros na vegetação de casuarina sugerem a utilização desses ambientes como locais de passagem e marcação de território por aves canoras nas primeiras horas do amanhecer, enquanto as assinaturas de biofonia, ao longo do dia, são inferiores aos registros da restinga, como evidenciam os valores de complexidade acústica.

Os sons dos animais são uma parte integrante da paisagem e constituem, com outros sons, as paisagens acústicas, caracterizadas pelo perfil dinâmico. A paisagem acústica de cada ambiente possui assinaturas únicas. Por meio da análise e interpretação dos dados adquiridos por registro sonoro, essa assinatura acústica pode ser capaz de revelar complexas redes de interações ecológicas, servindo de base para tomada de decisões no que diz respeito ao gerenciamento ambiental.

Por meio deste estudo, buscam-se, com fins de preservação desses ecossistemas em meio ao desenvolvimento urbano, ferramentas para verificar o grau de conservação e a qualidade desses *habitats*, evidenciando sua importância para uma gama de espécies que utilizam esse ecossistema como local de repouso, alimentação e reprodução. Os estudos das paisagens acústicas representam um viés para o estudo de ecossistemas, principalmente como ferramenta alternativa de diagnóstico, permitindo uma análise qualitativa e quantitativa, realizada de forma remota com baixo impacto.



A presença de Casuarina equisetifolia L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

Referências

ARAUJO, D. S. D. *et al.* Área de Proteção Ambiental de Massambaba, Rio De Janeiro: Caracterização Fitofisionômica e Florística. **Rodriguésia**, v. 60, n. 1, p. 67–96, 2009. DOI: 10.1590/2175-7860200960104.

ARAUJO, D. S. D.; LACERDA, L. D. A natureza das restingas. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.6, n.33. p. 42-48, 1987.

AYRES, M. *et al.* **Bioestat 5.0 aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Belém: IDSM, 2007. p. 364.

AZEVEDO, N. H. *et al.* **Ecologia na restinga: uma sequência didática argumentativa**. 1 ed. São Paulo: Os autores, 2014. p. 140. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/60/53/252-1>. Acesso em: 2019.

BARBIERI, E. B. Ritmo climático e extração de sal em Cabo Frio. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 37, n. 4, p. 23-109, 1975.

BARBIERI, E. B. Cabo Frio e Iguaba Grande: Dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. *In*: LACERDA, L. D. *et al.* (ed.). **Restingas: Origem, Estruturas, Processos**. Niterói: CEUFF, 1984. p. 3-12.

BARBIERI, E. B. Origin and evolution of Quaternary coastal palin between Guaratiba and Cape Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. *In*: KNOPPERS, B. A.; BIDIONE, E. D.; ABRÃO, J. J. (eds.). **Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon System of Rio de Janeiro Brazil**. [S.n: S.l.], 1999. p. 47-56. (Série Geoquímica Ambiental, 6).

BIOACOUSTICS RESEARCH PROGRAM. **Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.5)** [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology, 2014. Disponível em: <http://www.birds.cornell.edu/raven>. Acesso em: 2019.

BLUMSTEIN, D. T. *et al.* Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, p. 758-767, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2011.01993.x.

BOHRER, C. B. A. *et al.* Mapeamento da vegetação e do uso do solo no centro de diversidade vegetal de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 1, p. 1-33, 2009.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 417, de 23 de novembro de 2009. **Diário Oficial da União**: Seção 1, n. 224, p. 72, nov. 2009.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 453, de 02 de outubro de 2012. **Diário Oficial da União**: Seção 1, n. 192, p. 83, 3 out. 2012.

DAVIDSON, J. **Setting aside the idea that eucalyptus are always bad**: UNDP/FAO project Bangladesh BGD/79/017. 1985. (Working Paper, 10).



A presença de *Casuarina equisetifolia* L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

FARINA A. **Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications**. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 2014. DOI: 10.1007/978-94-007-7374-5_1.

GOOGLE. **Google Earth website**. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 13 ago. 2019.

GUIMARÃES, F. P. B. B.; TINOCO, M. S. Estudos preliminares da paisagem sonora do parque das dunas, remanescente de restinga da cidade do Salvador. In: SEMANA DE MOBILIZAÇÃO CIENTÍFICA DA UCSAL, 19., 2016, Bahia. p. 20.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama de Cabo Frio, Rio de Janeiro**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/cabo-frio/panorama>. Acesso em: 13 ago. 2019.

IUCN. INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. *Leontopithecus rosalia*, Golden Lion Tamarin. **The IUCN Red List of Threatened Species** (online), 2008. ISSN 2307-8235. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/11506/3287321>. Acesso em: 13 nov. 2019.

JESÚS, J.; MINELLO, M.; XAVIER, F. Um estudo sobre a paisagem acústica de dois fragmentos de restinga da Região dos Lagos/RJ. **Vértices**, v. 21, n. 3, p. 495-513, 2019. DOI: 10.19180/1809-2667.

KRAUSE, B. L. The Niche Hypothesis: **A virtual symphony of animal sounds, the origins of musical expression and the health of habitats**. [S.l.]: Soundscape Newsletter, World Forum for Acoustic Ecology, Simon Fraser Univ., 1993.

PEREIRA, W. L. C. M. **Cabo das tormentas, vagas da modernidade: uma história da Companhia Nacional de Álcalis e de seus trabalhadores. Cabo Frio (1943/1964) Arraial do Cabo**. 2009. Tese (Doutorado em História) - Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil, 2009.

PIERETTI, N.; FARINA, A.; MORRI, D. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). **Ecological Indicators**, Elsevier, p. 868–873, 2011. DOI: 10.1016/j.ecolind.2010.11.005.

PIJANOWSKI, B. C. *et al.* **Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape**. **American Institute of Biological Sciences**, 2011. DOI:10.1525/bio.2011.61.3.6.

POORE, M. E. D.; FRIES, C. **The ecological effects of Eucalyptus**. Rome: FAO, 1985. p. 87. (Forestry Paper, 59).

RAMOS, Y.; MINELLO, M.; XAVIER, F. O som como ferramenta de estudo ambiental: Análise bibliométrica sobre estudos em paisagem acústica. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 13, n. 2, p. 317-336, 21 fev. 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 1 dez. 2019.

SUEUR, J. *et al.* Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. **Acta Acustica United with Acustica**, v.100, p. 772-781, 2014. DOI: 10.3813/AAA.918757.



A presença de Casuarina equisetifolia L. pode alterar a paisagem acústica de uma área de restinga?

Yagho Ferreira Ramos, Fábio Contrera Xavier, Murilo Minello

VIELLIARD, J.; SILVA, M. L. **A Bioacústica como ferramenta de pesquisa em Comportamento animal.** [S.l. : s. n., 2010]. p. 15.

ZIMMERMANN, T. G. **Potencial de Invasão das Restingas por Casuarina equisetifolia L.:** Fatores que Limitam a Regeneração da Vegetação. 2016. Tese (Doutorado em Botânica) - Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.



Esta obra está licenciada sob uma Licença Creative Commons. Os usuários têm permissão para copiar e redistribuir os trabalhos por qualquer meio ou formato, e também para, tendo como base o seu conteúdo, reutilizar, transformar ou criar, com propósitos legais, até comerciais, desde que citada a fonte.