



Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Campus Mossoró
Curso de Ecologia

VICTOR NEUDO SANTOS TAVARES

**PADRÕES E PROCESSOS DE MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO
TAXONÔMICA DA ICTIOFAUNA DA ECORREGIÃO CAATINGA
NORDESTE E DRENAGENS COSTEIRAS**

MOSSORÓ-RN

2023

VICTOR NEUDO SANTOS TAVARES

**PADRÕES E PROCESSOS DE MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO
TAXONÔMICA DA ICTIOFAUNA DA ECORREGIÃO CAATINGA
NORDESTE E DRENAGENS COSTEIRAS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do título de
Ecólogo

Orientador: Dr. Rodrigo Fernandes

MOSSORÓ-RN

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva

ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

TT231 TAVARES, VICTOR NEUDO SANTOS.
p PADRÕES E PROCESSOS DE MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO
TAXONÔMICA DA ICTIOFAUNA DA ECORREGIÃO CAATINGA
NORDESTE E DRENAGENS COSTEIRAS / VICTOR NEUDO
SANTOS TAVARES. - 2023.
27 f. : il.

Orientador: Rodrigo Fernandes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ecologia, 2023.

1. Diversidade Beta. 2. Espécies Não Nativas.
3. Ecologia da Invasão. 4. Pressão de Propágulos.
5. Turnover. I. Fernandes, Rodrigo, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas

da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

VICTOR NEUDO SANTOS TAVARES

**PADRÕES E PROCESSOS DE MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO
TAXONÔMICA DA ICTIOFAUNA DA ECORREGIÃO CAATINGA
NORDESTE E DRENAGENS COSTEIRAS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do título de
Ecólogo

APROVADO EM: 11 / 10 / 2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO FERNANDES**
Data: 21/10/2023 21:31:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rodrigo Fernandes – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Presidente

**EVELINE DE ALMEIDA
FERREIRA**

Assinado digitalmente por EVELINE DE ALMEIDA
FERREIRA
ID: CN=EVELINE DE ALMEIDA FERREIRA
UFERSA - Universidade Federal Rural Do Semi-Arido, O=ICPEdu
C=BR
Razão:
Localização:
Data: 2023.10.22 10:26:30-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 2023.2.0

Eveline de Almeida Ferreira – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Primeiro Membro

Documento assinado digitalmente
 **JAMES LUCAS DA COSTA LIMA**
Data: 22/10/2023 17:32:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

James Lucas da Costa Lima – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Segundo Membro

RESUMO

A Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras é uma área tropical prioritária para a conservação da biodiversidade global de peixes de água doce, porém sua diversidade tem sido ameaçada pelo aumento no número de introduções de espécies não nativas. Investigamos o efeito das introduções de peixes não nativos nos padrões espaciais de mudança da composição da ictiofauna de bacias de drenagem da ecorregião, bem como a importância relativa de processos de substituição e ganho de espécies. Adicionalmente, avaliamos os efeitos diretos da riqueza de espécies não nativas e indiretos de variáveis associadas ao desenvolvimento humano (produto interno bruto, número de barragens e densidade populacional humana) com os padrões de mudança composicional. Usando um extenso banco de dados de museus ictiológicos, compilamos registros georreferenciados de espécies de água doce de 38 bacias de drenagem e as classificamos em relação à sua origem biogeográfica (nativa e não nativa). Para avaliar o impacto da introdução de espécies não nativas na mudança da diversidade beta da região, calculamos a diferença na dissimilaridade entre a fauna contemporânea (espécies nativas e não nativas) e a fauna histórica (criada pela remoção das espécies alienígenas) para o índice de Jaccard e seus componentes particionados de turnover e aninhamento. Listamos um total de 102 espécies de peixes, das quais 19 foram classificadas como não nativas. A presença das espécies não nativas aumentou a dissimilaridade na composição das assembleias da Ecorregião, principalmente por aumentar os níveis de turnover entre as bacias. Em escala de bacia, encontramos diferentes padrões de mudança composicional, por exemplo, encontramos padrões gerais ($\Delta\beta_{jac}$) de homogeneização em 15% das bacias, bem como reduções nos níveis de turnover ($\Delta\beta_{tur}$, 33%) e aninhamento ($\Delta\beta_{nes}$, 27%). Modelos de regressão múltipla demonstraram que os preditores riqueza de espécies alienígenas, número de barragens, produto interno bruto e tamanho populacional humano não apresentam evidência de efeito estatístico nas taxas de mudança composicional. Nossos resultados evidenciaram que espécies não nativas alteraram o padrão biogeográfico natural da ictiofauna da ecorregião, diferenciando a biota em escala regional, mas com ocorrência de homogeneização em escala de bacia. Esses achados reforçam a dependência da escala espacial nas dinâmicas de homogeneização e diferenciação taxonômica.

Palavras-chave: Diversidade Beta; Espécies Não Nativas; Ecologia da Invasão; Pressão de Propágulos; Turnover.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição espacial das bacias de drenagem da ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras (ECNDC). 1 - Abiaí, 2 - Acaraú, 3 - Apodi/Mossoró, 4 - Boqueirão, 5 - Camaragibe, 6 - Camaratuba, 7 - Capibaribe, 8 - Catú, 9 - Ceará Mirim, 10 - CELMM, 11 - Coreaú, 12 - Coruripe, 13 - Curimataú, 14 - Curu, 15 - Goiana, 16 - Gramame, 17 - Ipojuca, 18 - Jacú, 19 - Jaguaribe, 20 - Litoral-CE, 21 - Litoral-Norte, 22 - Mamanguape, 23 - Maxaranguape, 24 - Metropolitana, 25 - Miriri, 26 - Mundaú, 27 - Paraíba, 28 - Paraíba do Norte, 29 - Pirangi, 30 - Piranhas Açu, 31 - Potengi, 32 - Prati, 33 - Punaú, 34 - Rio Doce, 35 - São Miguel, 36 - Sirinhaém, 37 - Trairi e 38 – Una. 13

Figura 2 – Frequência relativa de ocorrência das espécies alienígenas da fauna de peixes de água doce das bacias de drenagem da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras. 16

Figura 3 – Histogramas dos valores de dissimilaridade de diversidade beta da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras para a matriz histórica e contemporânea. 17

Figura 4 – Valores médios de mudança de similaridade da fauna de peixes da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras. A) Valores de médios de $\Delta\beta_{jac}$. B) Valores de médios de $\Delta\beta_{tur}$. C) Valores médios de $\Delta\beta_{nes}$. 18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores da Regressão Múltipla para os valores de $\Delta\beta$ com o PIB = Produto Interno Bruto; D.B. = Densidade de Barragens; D.P. = Densidade Populacional e R.A. = Riqueza de Alienígenas.

19

LISTA DE ABREVIACÕES

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

ECNDC - Ecorregião Aquática Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PIB - Produto Interno Bruto.

SNISB - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens.

UFBA - Universidade Federal da Bahia.

UFPB - Universidade Federal da Paraíba.

UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

UFRS - Universidade Federal de Sergipe.

SUMÁRIO

PADRÕES E PROCESSOS DE MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA DA
ICTIOFAUNA DA ECORREGIÃO CAATINGA NORDESTE E DRENAGENS

COSTEIRAS	1
Ficha Catalográfica.....	3
AGRADECIMENTOS	10
INTRODUÇÃO.....	11
MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
Área de Estudo	13
Distribuição espacial das espécies de peixes	14
Direcionadores diretos e indiretos da mudança da composição taxonômica da fauna de peixes	15
Análise de dados	16
RESULTADOS	16
Padrões de distribuição de espécies na Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras	16
Padrões de diferença de beta diversidade taxonômica na Ecorregião	17
DISCUSSÃO	20
REFERÊNCIAS	23

AGRADECIMENTOS

Agradecer nunca é uma coisa fácil, principalmente quando se trata de algo tão importante. Foram cinco anos de graduação e inúmeras pessoas passaram pela minha vida, apoiando direta ou indiretamente nessa caminhada.

Gostaria neste caso de agradecer primeiramente a minha família sanguínea, que nunca me deixou faltar nada, e permitiu que eu me dedicasse exclusivamente a minha formação, em especial a minha mãe, por todo suporte que sempre me forneceu.

Preciso agradecer também a Sthefany, minha namorada, que esteve ao meu lado durante todo esse período, e me deu todos os tipos de suporte imagináveis.

Aproveito para prestar homenagem a minha falecida avó. Sei que a senhora estaria comigo na minha defesa e colação. Espero que esteja me acompanhando, seja lá onde estiver.

Agradeço a todos os professores que durante esse tempo, abriram portas importantíssimas para mim: Dr. Carlos Eduardo, Dra. Eveline Almeida, Dra. (São Paulina e Campeã) Eulene Francisco, Dra. (São Paulina e Campeã) Aline Campagna, Dra. Milena Wachlevski, Dr. Vitor Lunardi e principalmente ao meu orientador, Dr. Rodrigo Fernandes.

Agradeço ao irmão que ganhei no primeiro período, Rodrigo Maia, com quem dividi casa, atividades, laboratórios, provas, problemas e responsabilidades durante todo esse tempo de graduação.

Também ao infelizmente flamenguista, Ed Sheeran (Filipe), meu irmão peixe-se, que foi essencial para a conclusão da minha graduação, do meu projeto, e para a redação final deste manuscrito.

A minha amiga, (São Paulina e Campeã) Danicléia, que compartilhou pensamentos, ideias, desabafos, frustrações e alegrias comigo, durante todo esse longo, exaustivo, cansativo e demasiadamente extenso período.

Aos meus amigos mais próximos, Cascavel (Laura), Fluttershy (Sther), Airton (Airton), Humpty (Arthur), Ecoando (Nay), Pinguim (Icaro, o Icaro), Enzo (Enzo), Baki (Matheus), Peste (Yara), Hero (Outro Arthur) e Fungo (Jonas).

Agradeço a Rafael, Arboleda, Diego Costa, Rafinha, Caio Paulista, Beraldo, Alisson, Gabi Neves, Rodrigo Nestor, Wellington Rato, Lucas Moura, Calleri, Dorival Júnior, e todos os outros profissionais do São Paulo Futebol Clube, envolvidos na conquista da Copa do Brasil.

Por fim, agradeço aos peixes. Obrigado por existirem. E a todos que se disporem a ler o presente manuscrito: Peixem-se!

INTRODUÇÃO

A introdução de espécies não nativas é um dos principais motores de homogeneização biótica de comunidades de peixes de água doce em todo o planeta (LEPRIEUR *et al.*, 2008; LEVIS; RAMOS; LIMA, 2013). O processo de homogeneização biótica é definido como uma redução da dissimilaridade entre dois ou mais locais, que leva a diminuição da diversidade beta regional, decorrentes da dinâmica de extinções de espécies nativas e/ou a introduções de espécies não nativas em um intervalo de tempo específico. Esse processo pode ser analisado em uma perspectiva filogenética, funcional ou taxonômica (OLDEN; COMTE; GIAM, 2016; PETSCH, 2016). As introduções e extinções não precisam acontecer de forma simultânea, e a mudança na dissimilaridade da comunidade pode ser afetada pela influência de apenas um desses processos (DAVIS, 2009; OLDEN *et al.*, 2004; OLDEN; POFF, 2003). Quando ocorre apenas a introdução de espécies não nativas, a diminuição da diversidade beta muitas vezes é negligenciada em função do aumento da diversidade alfa (DAR; RESHI, 2014; FINDERUP NIELSEN *et al.*, 2019).

As atividades antrópicas podem interferir nas taxas de sucesso de invasão das espécies não nativas e nas taxas de extinção de espécies nativas global ou localmente (CATFORD; JANSSON; NILSSON, 2009; DAVIS, 2009; OLDEN *et al.*, 2004). Necessidades alimentícias (CASSEMIRO *et al.*, 2018) e recreativas (FORNECK *et al.*, 2016; LEVIS; RAMOS; LIMA, 2013) levam a introdução de espécies de peixes de água doce, enquanto outras atividades, como o aumento do despejo industrial e doméstico nos rios e lagos (LEVIS; RAMOS; LIMA, 2013), a construção de barragens (ROSA *et al.*, 2003), e alterações na paisagem circundante (RAHEL, 2002), representam ameaças à biodiversidade local, maximizando as taxas de extirpação de espécies nativas (BLANCHET *et al.*, 2009; DAVIS, 2009). Em regiões onde pressões econômicas e climáticas afetam a população humana, como a região semiárida do Nordeste brasileiro, eventos como a homogeneização taxonômica passam despercebidos devido à crescente demanda por fontes de proteínas. Por exemplo, setores públicos estimulam a introdução de espécies de peixes não nativos como alternativa para suprir a demanda da população humana em períodos de estiagem, colaborando para a simplificação de uma biota com características únicas (LEVIS; RAMOS; LIMA, 2013; ROSA *et al.*, 2003).

O efeito das mudanças causadas por invasões biológicas nos padrões biogeográficos naturais podem ser observados como homogeneização, diferenciação, ou mesmo não ser evidenciado a depender da escala espacial utilizada (MARCHETTI *et al.*, 2001; OLDEN; LOCKWOOD; PARR, 2011). Avaliar a mudança da beta diversidade em diferentes escalas

espaciais permite evidenciar diferentes padrões e intensidades dos processos de homogeneização e diferenciação biótica (MARCHETTI *et al.*, 2001; RAHEL, 2002; TAYLOR, 2004). Escalas espaciais mais amplas, que diluem o efeito das extirpações locais e contemplam um maior número de espécies não nativas amplamente distribuídas, geralmente evidenciam um aumento na homogeneização da comunidade (OLDEN; LOCKWOOD; PARR, 2011). Enquanto isso, escalas mais restritas são mais sensíveis às mudanças de riqueza e composição e evidenciam diferenciação biótica (LATINI; PETRERE JR., 2004; OLDEN; LOCKWOOD; PARR, 2011; ROONEY *et al.*, 2007).

A compreensão da mudança de diversidade beta necessita também do entendimento da partição dos componentes de turnover e aninhamento, a fim de elucidar quais mecanismos estão determinando os padrões observados (BASELGA, 2010). O componente de turnover pode ser compreendido como a substituição das espécies, enquanto o componente de aninhamento é associado à diferença de riqueza. Os dois componentes são contrários e podem ser influenciados por diferentes mecanismos, refletindo em diferentes interpretações dos padrões de diversidade beta encontrados. Padrões de turnover geralmente são associados às características evolutivas e ao processo de especiação, enquanto padrões de aninhamento associam-se ao surgimento de barreiras geográficas (BASELGA, 2010, 2012). Similarmente aos processos de homogeneização e diferenciação, a contribuição relativa de cada um desses componentes também varia de acordo com a escala espacial utilizada (BEVILACQUA; TERLIZZI, 2020). Estudos relativos à mudança de composição de fauna de peixes de água doce no Brasil já evidenciaram padrões de homogeneização biótica, mas sem investigar a contribuição relativa dos componentes particionados de diversidade beta (BRITO; DAGA; VITULE, 2020; VITULE; POZENATO, 2012).

A Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras é uma área prioritária para conservação da fauna, por apresentar um elevado grau de endemismo de espécies de peixes de água doce. Em um estudo realizado na região por Berbel-Filho e colaboradores (2018), foi registrado um total de 119 espécies, sendo 94 delas nativas e 14 não nativas, com 11 possíveis casos de erros de identificação. Neste estudo, os autores apontaram uma taxa de endemismo de 28% (23 espécies endêmicas). As altas taxas de endemismo da Ecorregião estão correlacionadas com as características físicas distintas do regime hidrográfico local, visto que as espécies apresentam características adaptativas relacionadas a intermitência dos rios (SARMENTO-SOARES *et al.*, 2017). A fauna de peixes nativa da Ecorregião é bastante ameaçada em função das atividades antrópicas, devido ao despejo de lixo e esgoto nos corpos hídricos, a destruição

da mata ciliar, a criação de animais e plantações próximas às margens dos rios e riachos das bacias hidrográficas da região, e a introdução de espécies alienígenas (LEVIS; RAMOS; LIMA, 2013). Somadas a isso, poucas Unidades de Conservação presentes na Ecorregião⁵ apresentam planos de manejo elaborados e ictiofauna inventariada, o que prejudicaria a avaliação da representatividade das espécies que estariam contempladas por essas Unidades (Sarmiento-Soares *et al.*, 2017).

Considerando a importância da conservação da ictiofauna da Ecorregião e as ameaças aos padrões biogeográficos naturais impostas pela introdução de espécies não nativas, no presente estudo buscamos compreender como a introdução de espécies muda a composição taxonômica da ictiofauna da Ecorregião, entendendo as contribuições relativas dos componentes de turnover e aninhamento em escala de ecorregião e de bacia, e se mecanismos indiretos associados às atividades humanas estão relacionados aos padrões de diversidade beta encontrados na região. Mais precisamente, objetivamos responder as seguintes questões: 1) Como a introdução de espécies não nativas alterou os padrões de diversidade beta da Ecorregião ?; 2) Como a escala espacial interfere nos padrões observados ?; 3) Como a partição dos componentes de *turnover* e aninhamento explicam os padrões gerais observados ?; e 4) Se a riqueza de espécies não nativas e variáveis relacionadas a atividade humana estão correlacionadas com os padrões de mudança da composição taxonômica da ictiofauna da Ecorregião?

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para o estudo foi a Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras (ABELL *et al.*, 2008) com área total de 272882.587 km², contida predominantemente na região Nordeste do Brasil (Fig. 1), contendo o bioma da Caatinga e trechos remanescente de Mata Atlântica. As médias de temperatura da região são superiores a 20 °C anuais, e a precipitação média acumulada varia entre 280 a 800 mm por ano (ARAÚJO, 2011). Apresenta também a ocorrência de principalmente rios intermitentes e sazonais, e irregularidade nas precipitações, resultantes do seu clima semiárido e solo cristalino (ROSA *et al.*, 2003; SARMENTO-SOARES *et al.*, 2017). Quando comparadas a outras regiões hidrográficas do globo, as bacias do nordeste brasileiro também se demonstram singulares, visto que seus rios são todos drenados para o Oceano Atlântico (ROSA *et al.*, 2003).

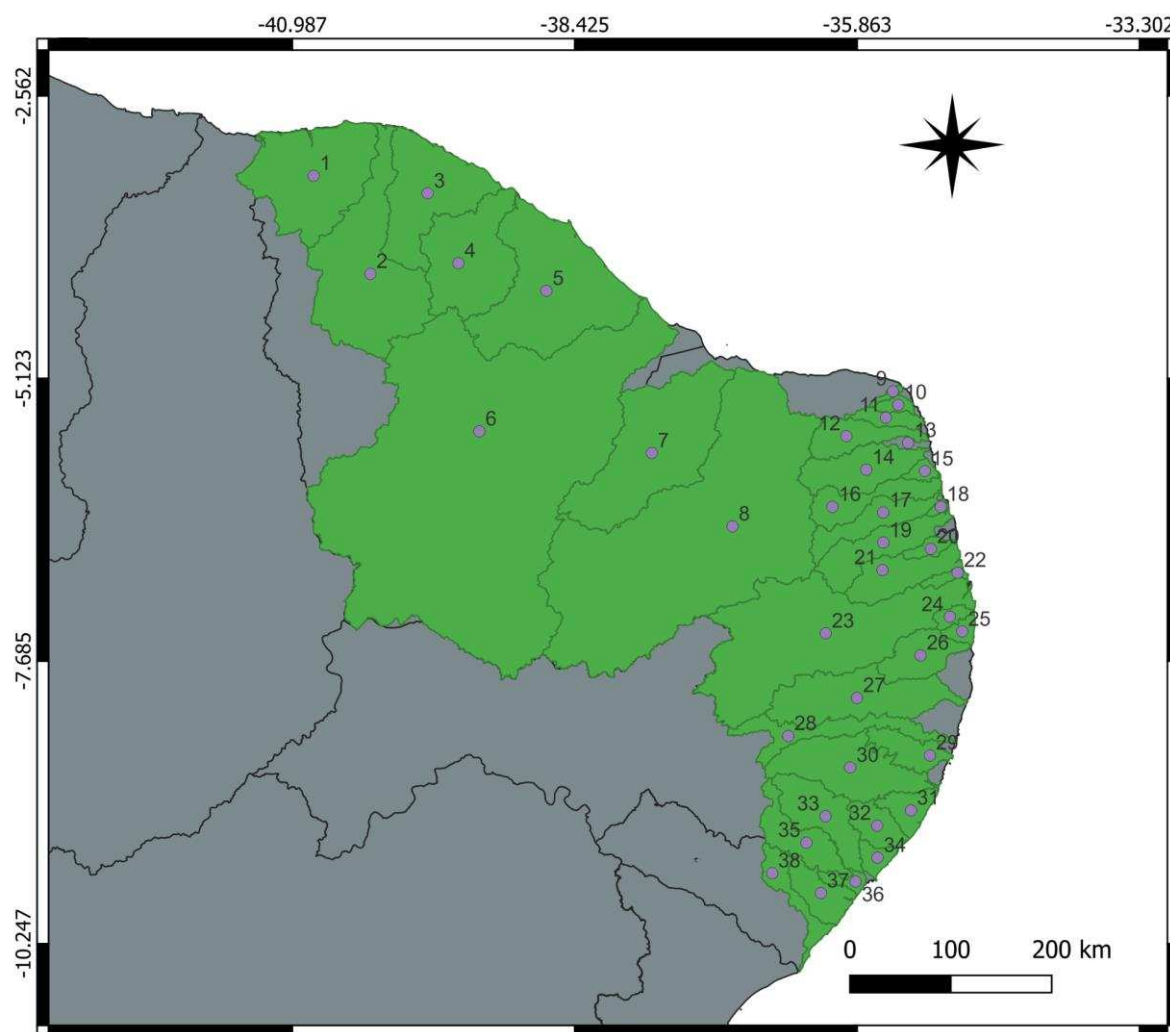


Figura 1 – Distribuição espacial das bacias de drenagem da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras. 1 - Coreaú, 2 - Acaraú, 3 – Litoral_CE, 4 - Curu, 5 - Metropolitana, 6 - Jaguaribe, 7 – Apodí/Mossoró, 8 - Piranhas Açu, 9 - Boqueirão, 10 - Punaú, 11 - Maxaranguape, 12 – Ceará Mirim, 13 – Rio Doce, 14 - Potengi, 15 - Pirangi, 16 - Trairí, 17 - Jacú, 18 - Catú, 19 - Curimataú, 20 - Camaratuba, 21 - Mamanguape, 22 - Miriri, 23 – Paraíba do Norte, 24 - Gramamé, 25 - Abiaí, 26 - Goiana, 27 - Capibaribe, 28 - Ipojuca, 29 - Sirinhaém, 30 – Una-PE, 31 – Litoral Norte - AL, 32 - Camaraguibe, 33 – Mundaú-CE, 34 - Pratajé, 35 – Paraíba-AL, 36 - CELMM, 37 – São Miguel e 38 - Coruripe.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESPÉCIES DE PEIXES

Para mapear a distribuição espacial e composição das assembleias de peixes das bacias foram utilizados registros georreferenciados de ocorrência das espécies, disponíveis no portal digital Species Link (<http://www.splink.org.br/>) e nos materiais depositados nos museus ictiológicos da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade Federal da Paraíba

(UFPB), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Universidade Federal de Sergipe (UFS) (dados não disponíveis online), os quais foram cruzados com shapefiles com a delimitação das bacias de drenagens da Ecorregião. Como as bacias presentes na região apresentam conectividade com o Oceano Atlântico, bem como a presença de estuários, espécies marinhas, anádromas e catádromas foram registradas no levantamento inicial. Todavia, estas espécies foram removidas da lista final, visando avaliar apenas a ictiofauna de água doce. Classificamos cada espécie remanescente quanto sua origem biogeográfica em nativa ou alienígena de acordo com LIMA *et al.* (2017), com posterior revisão de dois especialistas da UFPB. Compilamos esses dados em uma matriz de ausência e presença e a partir desta, nós dividimos os dados de distribuição das espécies para representar a ictiofauna do período histórico, o qual foi composta somente por espécies nativas e período contemporâneo, matriz composta por espécies nativas e espécies introduzidas, de acordo com a metodologia descrita em outros estudos (BAISER *et al.*, 2012).

DIRECIONADORES DIRETOS E INDIRETOS DA MUDANÇA DA COMPOSIÇÃO TAXONÔMICA DA FAUNA DE PEIXES

Introduções e extinções de espécies são os principais mecanismos diretos de homogeneização/diferenciação taxonômica. Todavia, não existem registros históricos de extinção de espécies nativas em escala de bacia de drenagem na Ecorregião. Desta forma, no presente estudo, consideramos as mudanças direcionadas apenas pela introdução de espécies não nativas. Além disso, consideramos as atividades antrópicas como mecanismos direcionadores indiretos da mudança de beta-diversidade, pois interferem nas introduções de espécies não nativas e extinções de espécies nativas. Para representar as fontes de variação das atividades antrópicas, calculamos para cada bacia o número de barragens, tamanho da população humana e Produto Interno Bruto (PIB). O número de barragens foi calculado utilizando dados georreferenciados do relatório de segurança de barragens do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (<https://www.snisb.gov.br/>). Os dados de tamanho populacional humano e PIB foram obtidos no censo de 2010 do IBGE, discriminados por município (IBGE, 2010). Considerando que os limites dos municípios se referem a esferas políticas e não respeitam os limites geográficos das bacias hidrográficas, adotamos o critério de incluir a informação do município somente se maior parte da sua área estiver contida no limite da bacia. A bacia do Rio Doce foi removida da matriz final por não apresentar um município que pudesse servir de parâmetro para mensurar as variáveis selecionadas.

ANÁLISE DE DADOS

Para quantificar os padrões de mudança da composição das assembleias calculamos as diferenças ($\Delta\beta$) entre os valores de similaridade de Jaccard (β_{jac}) do período contemporâneo e do período histórico, através do pacote *Betapart* no *software RStudio*. Consideramos como período histórico, a composição de espécies nativas que começaram a ser registradas na região a partir do século XIX (Rosa et al., 2003). O período contemporâneo foi considerado como a composição do período histórico, mais a adição da fauna de peixes não nativos. Adicionalmente, para avaliar a influência de processos de substituição e adição de espécies na mudança da comunidade, decompomos os valores de β_{jac} nos componentes de turnover (β_{tur}) e aninhamento (β_{nes}) através do método de partição de dissimilaridade proposto por Baselga (2010). Os valores de dissimilaridade obtidos foram convertidos em valores de similaridade ($1 - \beta$). Valores positivos de Δ indicam homogeneização taxonômica da fauna, enquanto valores negativos indicam diferenciação. Expressamos os padrões de homogeneização e/ou diferenciação taxonômica da ecorregião e bacias através dos valores médios de Δ ($\Delta\bar{}$).

Usamos modelos de regressão linear múltipla para avaliar a relação entre a riqueza de espécies não nativas e as variáveis associadas a atividade humana com os valores de Δ (β_{jac} , β_{tur} e β_{nes}). Visando quantificar os padrões modificados apenas das bacias que receberam introduções, as bacias que não apresentaram ocorrência de espécies alienígenas foram removidas da análise final. A sua manutenção aumentaria os valores de dissimilaridade em escala de ecorregião e em escala de bacia de drenagem, mesmo que não tenha ocorrido mudança composicional nas respectivas bacias. Todas as análises foram executadas no *software RStudio*.

RESULTADOS

PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES NA ECORREGIÃO CAATINGA NORDESTE E DRENAGENS COSTEIRAS

Encontramos um total de 102 espécies de peixes de água doce, das quais 19 foram classificadas como não nativas e 83 como nativas. As espécies alienígenas estavam presentes em 89% das bacias que compõem a ecorregião, e apenas as bacias dos rios Boqueirão, Camaragibe, Punaú e São Miguel não registraram a ocorrência dessas espécies. *Poecilia reticulata* e *Oreochromis niloticus* foram as espécies não nativas mais frequentes na Ecorregião, ocorrendo em cerca de 70% das bacias (Figura 2). Os ciclídeos *Astronotus ocellatus* e *Cichla monoculus* ocorreram em 30% das bacias, enquanto as demais espécies ocorreram em menos de 20% das bacias.

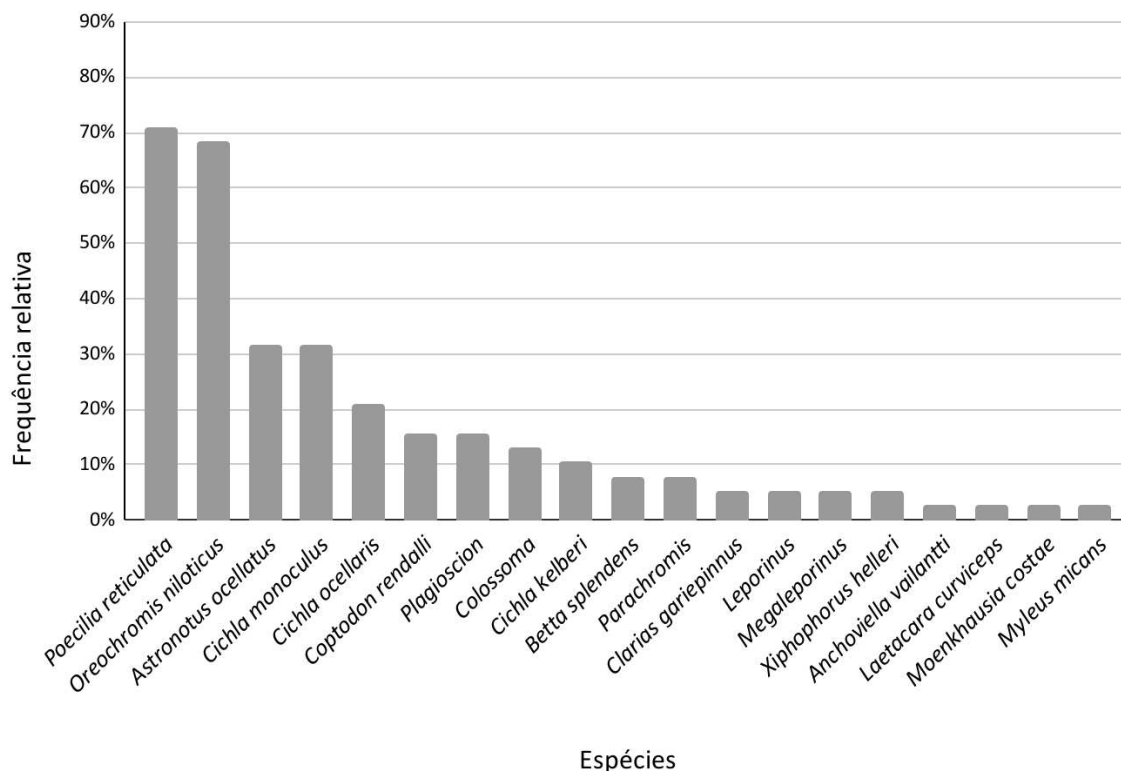


Figura 2 - Frequência relativa de ocorrência das espécies não nativas da fauna de peixes de água doce das bacias de drenagem da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras.

PADRÕES DE DIFERENÇA DE BETA DIVERSIDADE TAXONÔMICA NA ECORREGIÃO

Em escala regional, encontramos que a matriz contemporânea apresentou valores médios de dissimilaridade superiores aos apresentados pela matriz histórica ($\beta_{jac} = 0.632$ e $\beta_{jac} = 0.620$ respectivamente), com 63% dos valores de $\Delta \bar{\beta}_{jac}$ apresentando tendência de diferenciação (Fig. 3). A partição dos componentes apresentou valores médios de β_{tur} (Fig. 3) superiores na matriz contemporânea comparados a matriz histórica ($\beta_{tur} = 0.410$ e $\beta_{tur} = 0.398$, respectivamente). Os valores médios de β_{nes} não apresentaram diferença entre os dois períodos ($\beta_{nes} = 0.222$). Em escala de bacia hidrográfica, a matriz de similaridade gerada apresentou $1.2\% \pm 1.28\%$ como tendência geral de diferenciação, $1.2\% \pm 3.2\%$ para $\Delta \bar{\beta}_{tur}$ (Figura 4) e $0.01\% \pm 3.2\%$ de diferenciação para $\Delta \bar{\beta}_{nes}$ (Figura 4). A bacia hidrográfica do rio Catú apresentou o maior valor de diferenciação para $\Delta \bar{\beta}_{jac}$ (4.1%), enquanto a bacia do rio Coruripe apresentou o maior valor de homogeneização (0.8%). Apesar da majoritária tendência de diferenciação, 15.2% das bacias apresentaram tendência de homogeneização para $\Delta \bar{\beta}_{jac}$.

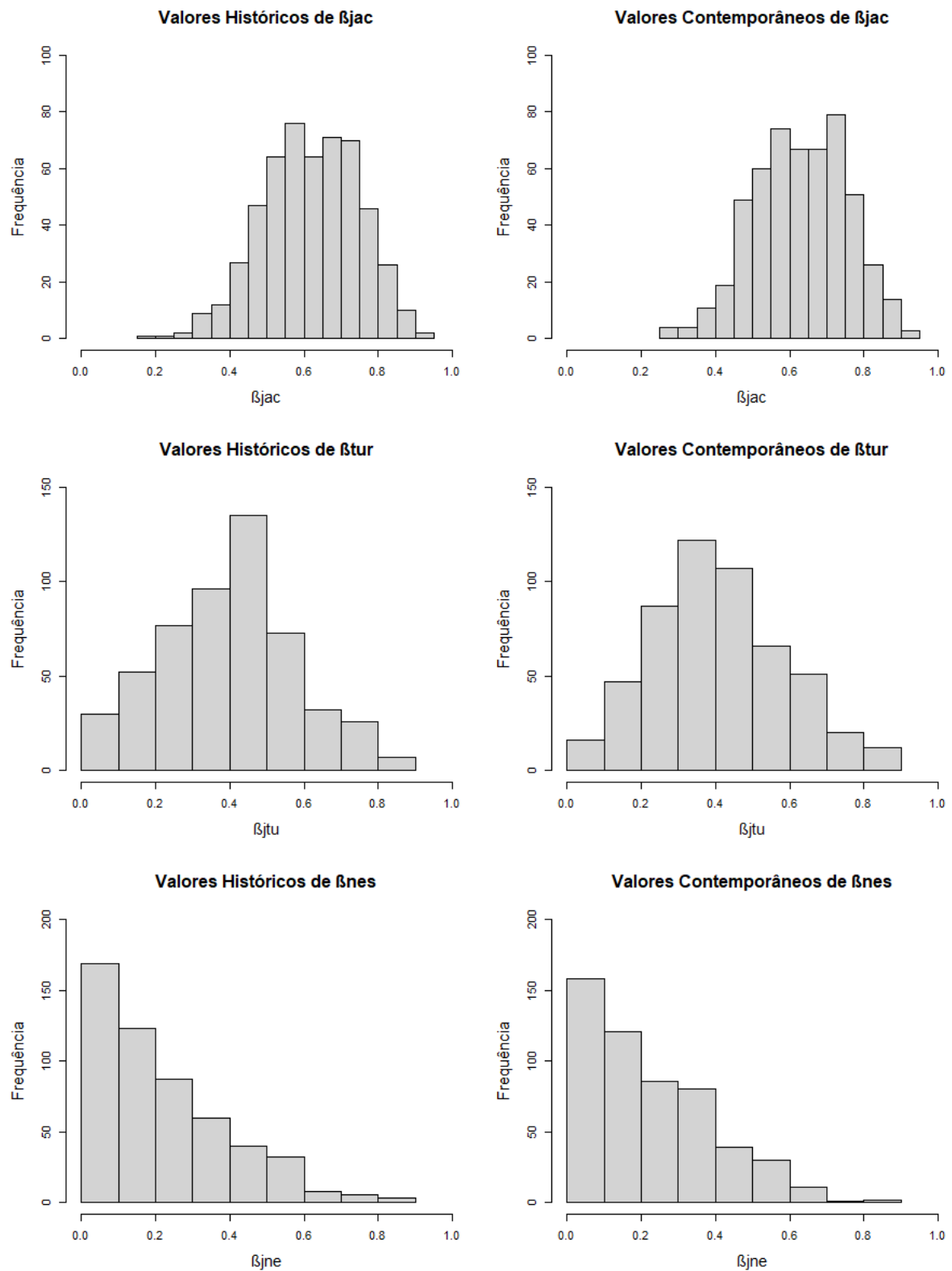


Figura 3 - Histogramas dos valores de dissimilaridade de beta diversidade da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras para a matriz histórica e contemporânea de peixes de água doce.

A partição dos componentes apresentou padrões de homogeneização e diferenciação quando observados em escala de bacia hidrográfica. Para o $\Delta\bar{B}_{tur}$, 33.3% bacias apresentaram tendência de homogeneização e as demais bacias tendências de diferenciação (Figura 4). A bacia hidrográfica do rio Capibaribe apresentou o maior valor de diferenciação para o $\Delta\bar{B}_{tur}$ (16.0%), enquanto a bacia do rio Litoral Norte apresentou o maior valor de homogeneização (2.0%). Para $\Delta\bar{B}_{nes}$, 27.3% bacias apresentaram tendência de homogeneização, e as demais bacias apresentaram tendências de diferenciação (Figura 4). A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Norte apresentou o maior valor de diferenciação (4.5%), enquanto a bacia do rio Capibaribe apresentou o maior valor de homogeneização (15.4%).

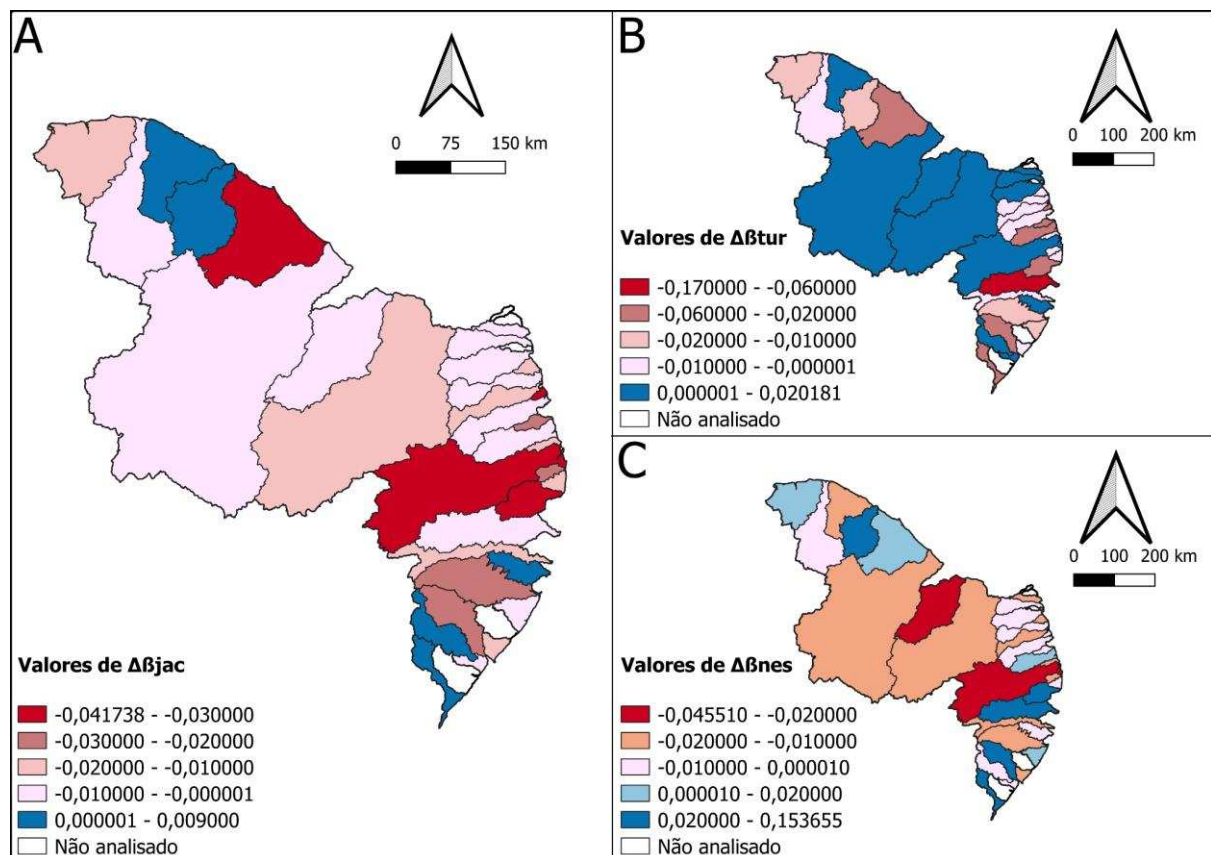


Figura 4 - Valores médios de mudança de similaridade da fauna de peixes da Ecorregião Caatinga Nordeste e Drenagens Costeiras. A) Valores de médios de $\Delta\beta_{jac}$. B) Valores de médios de $\Delta\beta_{tur}$. C) Valores médios de $\Delta\beta_{nes}$.

Os resultados das regressões múltiplas demonstraram que os modelos com as variáveis de atividade humana selecionadas e riqueza de espécies exóticas não apresentam correlação significativa para todos os valores de $\Delta\bar{B}$ (geral e componentes) (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados das regressões múltiplas entre variáveis preditoras e os valores de $\Delta\beta$. PIB = Produto Interno Bruto; D.B. = Densidade de Barragens; D.P. = Densidade Populacional Humana e R.A. = Riqueza de Alienígenas.

Métrica	Variável	G.L.	F	P	R ²
$\Delta\beta_{jac}$	Modelo (PIB + D.B. + D.P. + R.A)	28	0.610	0.659	0.080
	Variável	Estimativa	EP	t	P
	PIB	-2.895x10 ⁻¹⁰	2.491x10 ⁻¹⁰	-1.16	0.255
	D.B.	-6.253	40.16	-1.16	0.877
	D.P.	-8.786x10 ⁻⁵	6.994x10 ⁻⁴	-0.13	0.901
	R.A.	-6.484x10 ⁻⁴	8.762x10 ⁻⁴	-0.74	0.465
Métrica	Variável	G.L.	F	P	R ²
$\Delta\beta_{tur}$	Modelo (PIB + D.B. + D.P. + R.A)	28	3.285	0.02504	0.3194
	Variável	Estimativa	EP	t	P
	PIB	-1.792x10 ⁻⁹	5.383x10 ⁻¹⁰	-3.33	0.002
	D.B.	39.10	86.79	0.45	0.656
	D.P.	7.847x10 ⁻⁴	1.512x10 ⁻³	0.52	0.608
	R.A.	3.256x10 ⁻³	1.893x10 ⁻³	1.72	0.096
Métrica	Variável	G.L.	F	P	R ²
$\Delta\beta_{nes}$	Modelo (PIB + D.B. + D.P. + R.A)	28	2.545	0.0616	0.2666
	Variável	Estimativa	EP	T	P
	PIB	1.503x10 ⁻⁹	5.609x10 ⁻¹⁰	2.70	0.012
	D.B.	-45.36	90.43	-0.50	0.620
	D.P.	-8.726x10 ⁻⁴	1.575x10 ⁻³	-0.55	0.584
	R.A.	-3.904x10 ⁻³	1.973x10 ⁻³	-1.98	0.058

DISCUSSÃO

Nossos resultados demonstraram que as bacias da Ecorregião apresentaram uma tendência geral de diferenciação, mas com evidências do processo de homogeneização taxonômica em determinadas bacias. Eventos como a introdução de espécies podem ocasionar padrões de homogeneização e de diferenciação em uma mesma região, em diferentes escalas de tempo. A priori, o aumento do pool de espécies aumenta os valores de diferenciação entre duas localidades, por modificar os valores de riqueza de espécies. Conforme as pressões de propágulos se mantêm, a riqueza dos locais se iguala, simplificando os padrões de beta diversidade. A presença dos dois eventos (homogeneização e diferenciação) foi documentada em muitas regiões (OLDEN; COMTE; GIAM, 2018; POOL; OLDEN, 2012; TAYLOR, 2004), sendo fortemente influenciada pela escala utilizada (WANG *et al.*, 2021). Os valores de diferenciação regional encontrados em nosso estudo são similares aos encontrados na bacia do Rio Colorado, nos EUA (POOL; OLDEN, 2012) e na bacia do rio Paraná, Brasil (VITULE; SKÓRA; ABILHOA, 2012), demonstrando que as bacias da Ecorregião seguem os padrões de

mudança semelhantes à regiões mais socioeconomicamente desenvolvidas. A tendência de diferenciação registrada está associada a baixa ocorrência de pelo menos 10 espécies não nativas, (e.g. *Laetacara curviceps* e *Myleus micans*) que ocorreram em menos de 10% das bacias, aumentando os valores de diversidade alfa e o turnover de espécies (PETSCH, 2016). Entretanto, as introduções costumam ocorrer massivamente (LEPRIEUR *et al.*, 2008), diluindo o efeito da idiosincrasia com o tempo e convertendo o processo em homogeneização.

A introdução de espécies pode ocasionar eventos de homogeneização e de diferenciação em uma mesma região, em diferentes escalas de tempo, alterando os padrões biogeográficos naturais. Na região semiárida brasileira, pressões alimentícias associadas aos períodos de escassez hídrica ocasionaram múltiplos eventos de introduções de peixes de água doce. O Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) foi responsável por muitos projetos de peixamento nas bacias brasileiras (LIMA JUNIOR *et al.*, 2018), deliberadamente introduzindo espécies de peixes não nativas em açudes da Ecorregião. Por exemplo, a Atilápia (*Oreochromis niloticus*), os tucunarés (*Cichla* spp.) e outras espécies de ciclídeos são utilizados com frequência na aquicultura devido suas características funcionais que facilitam o seu cultivo (cuidado parental, onivoria, crescimento rápido), apresentando consequentemente ampla distribuição geográfica (BRITO; DAGA; VITULE, 2020; GOZLAN *et al.*, 2010). O mesmo ocorre com espécies introduzidas pelo aquarismo (BUENO *et al.*, 2021; VITULE *et al.*, 2012).

Nossos resultados demonstraram o componente de turnover com tendência de homogeneização, em um terço das bacias na Ecorregião, similarmente ao apresentado para o componente de aninhamento. Conforme o mesmo pool de espécies não nativas são introduzidas em grande parte das bacias, a similaridade da composição das faunas dessas bacias aumenta, gerando os padrões de homogeneização observados em escala de bacia. A compreensão dos componentes de turnover e aninhamento é defendida como um fator crucial para elucidar quais mecanismos direcionam as mudanças de beta diversidade (BAISER *et al.*, 2012; BASELGA, 2010; LEPRIEUR *et al.*, 2011), visto que a direção das mudanças pode variar de acordo com o componente analisado (BASELGA, 2012). O componente de turnover fornece informações para quantificar mudanças associadas à introdução de espécies, enquanto o componente de aninhamento explica mudanças associadas aos padrões biogeográficos que vem sendo alterados pela destruição de barreiras naturais (BLANCHET *et al.*, 2009).

Nossos resultados foram guiados apenas pela introdução de espécies, entretanto, mudanças na composição de fauna e em padrões de beta diversidade são direcionados pelas

introduções e extirpações de espécies nativas. É conhecido que espécies endêmicas e ameaçadas de extinção apresentam maiores chances de sofrerem extirpação, e apesar do pool de espécies de peixes de água doce da Ecorregião pode ser considerado baixo em comparação a outras regiões Neotropicais (BUENO *et al.*, 2021; JARDULI *et al.*, 2019; VITULE; SKÓRA; ABILHOA, 2012), as taxas de endemismo da região são altas. Taxas de endemismo próximas aos 30% foram encontradas por Berbel-filho e colaboradores (2018), contrastando com cerca de 57% das espécies possivelmente endêmicas na Caatinga. Não há exatidão sobre a caracterização na Caatinga em função da escassez de estudos eficientes (ROSA *et al.*, 2003).

Fatores econômicos e sociais, mensurados através de métricas populacionais humanas, estão associados aos padrões de introduções em outros estudos (CATFORD; JANSSON; NILSSON, 2009; DAVIS, 2009). No nosso estudo, consideramos o PIB, a população humana e o número de barragens em cada bacia como variáveis que representam as atividades antrópicas, mas não encontramos relação com os padrões de $\Delta \beta$ observados. Apesar da relação já encontrada entre métricas humanas e padrões de introdução de espécies em outros estudos (BLANCHET *et al.*, 2009), eventos de introdução de espécies podem ocorrer ao acaso ou associadas a decisões governamentais (LEVIS; RAMOS; LIMA, 2013), como muitos de nossos casos de introduções. Assim, como o sucesso da invasão também é dependente de variáveis ambientais e biológicas, os padrões de mudança de diversidade beta podem estar associados a outros mecanismos indiretos não avaliados em nosso estudo. Explorar os padrões de beta diversidade funcional e filogenética complementariam o entendimento dos efeitos das introduções de não nativas na região (CASTRO *et al.*, 2023; PELICICE *et al.*, 2022; RIBEIRO-NETO *et al.*, 2023; RIVERA *et al.*, 2023), visto que o pool de espécies introduzidas costuma ser generalista e muitas espécies com alta frequência de ocorrência costumam compartilhar parentesco filogenético, apresentando nichos funcionais semelhantes (e. g. ciclídeos).

Nosso estudo avaliou a diferença na beta diversidade da Ecorregião em dois períodos de tempo, histórico e contemporâneo. Entender como a beta diversidade é modificada pela introdução de espécies, evento causado pela ação antrópica, possibilita delinear estratégias de conservação para espécies raras (SOCOLAR *et al.*, 2016) em diferentes escalas espaciais. Por exemplo, em escalas mais restritas, o uso da partição de similaridade entre dois locais permite estabelecer áreas preferenciais para conservação com base no aumento da similaridade com outras localidades pelo processo de turnover, como observado em nosso estudo. Isso é possibilitado devido a utilização de diferentes escalas espaciais que permite dar luz a eventos

de homogeneização particulares, que costumam ser ocultados pelos valores gerais de diminuição de similaridade (FINDERUP NIELSEN *et al.*, 2019).

Em conclusão, introduções de espécies alteram padrões biogeográficos naturais e impactam a diversidade beta em escalas amplas e restritas. Nosso estudo reforça o efeito das escalas espaciais e evidencia o potencial das espécies alienígenas no processo de simplificação da biota. Ressaltamos que compreender os processos associados à mudança de beta diversidade possibilita também estabelecer estratégias para a conservação dos padrões biogeográficos atuais. Acreditamos que continuar com introduções, conjuntamente com o desaparecimento de espécies ameaçadas de extinção pode levar a padrões de homogeneização biótica regional no futuro, o que é preocupante, visto que diversos serviços ecossistêmicos prestados por essas espécies serão comprometidos.

REFERÊNCIAS

- ABELL, R. *et al.* Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation. **BioScience**, v. 58, n. 5, p. 403–414, 1 maio 2008.
- ARAÚJO, S. M. S. DE. A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Revista Rios**, v. 5, n. 5, p. 89–98, 1 dez. 2011.
- BAISER, B. *et al.* Pattern and process of biotic homogenization in the New Pangaea. Proceedings of the Royal Society B: **Biological Sciences**, v. 279, n. 1748, p. 4772–4777, 7 dez. 2012.
- BASELGA, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity: Partitioning beta diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 1, p. 134–143, jan. 2010.
- BASELGA, A. The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 12, p. 1223–1232, 2012.
- BERBEL-FILHO, W. M. *et al.* Updated checklist and DNA barcode-based species delimitations reveal taxonomic uncertainties among freshwater fishes from the mid-north-

eastern Caatinga ecoregion, north-eastern Brazil. **Journal of Fish Biology**, v. 93, n. 2, p. 311–323, 2018.

BEVILACQUA, S.; TERLIZZI, A. Nestedness and turnover unveil inverse spatial patterns of compositional and functional β -diversity at varying depth in marine benthos. **Diversity and Distributions**, v. 26, n. 6, p. 743–757, 2020.

BLANCHET, S. *et al.* Broad-scale determinants of non-native fish species richness are context-dependent. Proceedings of the Royal Society B: **Biological Sciences**, v. 276, n. 1666, p. 2385–2394, 7 jul. 2009.

BRITO, M. F. G.; DAGA, V. S.; VITULE, J. R. S. Fisheries and biotic homogenization of freshwater fish in the Brazilian semiarid region. **Hydrobiologia**, v. 847, n. 18, p. 3877–3895, out. 2020.

BUENO, M. L. *et al.* Alien fish fauna of southeastern Brazil: species status, introduction pathways, distribution and impacts. **Biological Invasions**, v. 23, n. 10, p. 3021–3034, 1 out. 2021.

CASSEMIRO, F. A. S. *et al.* The invasive potential of tilapias (Osteichthyes, Cichlidae) in the Americas. **Hydrobiologia**, v. 817, n. 1, p. 133–154, jul. 2018.

CASTRO, S. A. *et al.* Covariation of taxonomic and functional facets of β -diversity in Chilean freshwater fish assemblages: Implications for current and future processes of biotic homogenization. **PLOS ONE**, v. 18, n. 2, p. e0281483, 9 fev. 2023.

CATFORD, J. A.; JANSSON, R.; NILSSON, C. Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. **Diversity and Distributions**, v. 15, n. 1, p. 22–40, jan. 2009.

DAR, P. A.; RESHI, Z. A. Components, processes and consequences of biotic homogenization: A review. **Contemporary Problems of Ecology**, v. 7, n. 2, p. 123–136, 1 mar. 2014.

DAVIS, M. A. Invasion biology. Oxford ; New York: **Oxford University Press**, 2009.

FINDERUP NIELSEN, T. *et al.* More is less: net gain in species richness, but biotic homogenization over 140 years. **Ecology Letters**, v. 22, n. 10, p. 1650–1657, 2019.

FORNECK, S. C. *et al.* Invasion risks by non-native freshwater fishes due to aquaculture activity in a Neotropical stream. **Hydrobiologia**, v. 773, n. 1, p. 193–205, jun. 2016.

GOZLAN, R. E. *et al.* Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. **Journal of Fish Biology**, v. 76, n. 4, p. 751–786, mar. 2010.

JARDULI, L. R. *et al.* Fish fauna from the Paranapanema River basin, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 20, p. e20180707, 14 out. 2019.

LATINI, A. O.; PETRERE JR., M. Reduction of a native fish fauna by alien species: an example from Brazilian freshwater tropical lakes. **Fisheries Management and Ecology**, v. 11, n. 2, p. 71–79, 2004.

LEPRIEUR, F. *et al.* Fish Invasions in the World's River Systems: When Natural Processes Are Blurred by Human Activities. **PLoS Biology**, v. 6, n. 2, p. e28, 5 fev. 2008.

LEPRIEUR, F. *et al.* Partitioning global patterns of freshwater fish beta diversity reveals contrasting signatures of past climate changes: Partitioning global patterns of fish beta diversity. **Ecology Letters**, v. 14, n. 4, p. 325–334, abr. 2011.

LEVIS, C.; RAMOS, T.; LIMA, S. A disputa desigual entre peixes nativos e exóticos do semiárido. 2013.

LIMA JUNIOR, D. P. *et al.* Aquaculture expansion in Brazilian freshwaters against the Aichi Biodiversity Targets. **Ambio**, v. 47, n. 4, p. 427–440, 1 maio 2018.

LIMA, S. M. Q. *et al.* Diversity, Distribution, and Conservation of the Caatinga Fishes: Advances and Challenges. Em: SILVA, J. M. C. DA; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Eds.). Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America. Cham: **Springer International Publishing**, 2017. p. 97–131.

MARCHETTI, M. P. *et al.* Homogenization of California's Fish Fauna Through Abiotic Change. Em: LOCKWOOD, J. L.; MCKINNEY, M. L. (Eds.). Biotic Homogenization. Boston, MA: **Springer US**, 2001. p. 259–278.

OLDEN, J.; COMTE, L.; GIAM, X. Biotic Homogenisation. Em: **eLS**. p. 1–8, 16 ago. 2016.

OLDEN, J. D. *et al.* Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 19, n. 1, p. 18–24, jan. 2004.

OLDEN, J. D.; COMTE, L.; GIAM, X. The Homogocene: a research prospectus for the study of biotic homogenisation. **NeoBiota**, v. 37, p. 23–36, 6 mar. 2018.

OLDEN, J. D.; LOCKWOOD, J. L.; PARR, C. L. Biological Invasions and the Homogenization of Faunas and Floras. Em: LADLE, R. J.; WHITTAKER, R. J. (Eds.). *Conservation Biogeography*. 1. ed. **Wiley**, 2011. p. 224–243.

OLDEN, J. D.; POFF, N. L. Toward a Mechanistic Understanding and Prediction of Biotic Homogenization. **The American Naturalist**, v. 162, n. 4, p. 442–460, out. 2003.

PELICICE, F. M. *et al.* Contrasting continental patterns and drivers of taxonomic and functional turnover among fish assemblages across Brazilian reservoirs. **Hydrobiologia**, v. 849, n. 2, p. 373–384, jan. 2022.

PETSCH, D. K. Causes and consequences of biotic homogenization in freshwater ecosystems. **International Review of Hydrobiology**, v. 101, n. 3–4, p. 113–122, 2016.

POOL, T. K.; OLDEN, J. D. Taxonomic and functional homogenization of an endemic desert fish fauna: Homogenization of an endemic fish fauna. **Diversity and Distributions**, v. 18, n. 4, p. 366–376, abr. 2012.

RAHEL, F. J. Homogenization of Freshwater Faunas. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 33, n. 1, p. 291–315, nov. 2002.

RIBEIRO-NETO, J. D. *et al.* Aridity and chronic anthropogenic disturbances cause a taxonomic, functional, and phylogenetic homogenization of ant communities in a Caatinga dry forest. **Biological Conservation**, v. 284, p. 110151, 1 ago. 2023.

RIVERA, J. D. *et al.* Beyond species loss: How anthropogenic disturbances drive functional and phylogenetic homogenization of Neotropical dung beetles. **Science of The Total Environment**, v. 869, p. 161663, abr. 2023.

ROONEY, T. P. *et al.* Biotic homogenization and conservation prioritization. **Biological Conservation**, v. 134, n. 3, p. 447–450, jan. 2007.

ROSA, R. *et al.* Diversidade, padrões de distribuição e conservação dos peixes da Caatinga. Em: **Ecologia E Conservação Da Caatinga**. p. 135–180. 2003

SARMENTO-SOARES, L. *et al.* Ictiofauna das ecorregiões de água doce e marinhas do nordeste brasileiro. **Boletim Sociedade Brasileira de Ictiologia**, p. 16–35, 6 jul. 2017.

SOCOLAR, J. B. *et al.* How Should Beta-Diversity Inform Biodiversity Conservation? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 31, n. 1, p. 67–80, jan. 2016.

TAYLOR, E. B. An analysis of homogenization and differentiation of Canadian freshwater fish faunas with an emphasis on British Columbia. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 61, n. 1, p. 68–79, 1 jan. 2004.

VITULE, J. R. S. *et al.* Revisiting the Potential Conservation Value of Non-Native Species. **Conservation Biology**, v. 26, n. 6, p. 1153–1155, 2012.

VITULE, J. R. S.; POZENATO, L. P. Homogeneização biótica: Misturando organismos em um mundo pequeno e globalizado. **Estudos de Biologia**, v. 34, n. 83, 27 nov. 2012.

VITULE, J. R. S.; SKÓRA, F.; ABILHOA, V. Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics: Biotic homogenization in Neotropics. **Diversity and Distributions**, v. 18, n. 2, p. 111–120, fev. 2012.

WANG, S. *et al.* Biotic homogenization destabilizes ecosystem functioning by decreasing spatial asynchrony. **Ecology**, v. 102, n. 6, p. e03332, 2021.