

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VICTOR YAMAGAMI TAKAHASHI

**HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA ASSOCIADA ÀS MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS
ANTROPOGÊNICAS: CIENCIOMETRIA E HIERARQUIZAÇÃO DE HIPÓTESES**

CURITIBA
2016

VICTOR YAMAGAMI TAKAHASHI

**HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA ASSOCIADA ÀS MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS
ANTROPOGÊNICAS: CIENCIOMETRIA E HIERARQUIZAÇÃO DE HIPÓTESES**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná, apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jean R. S. Vitule
Coorientadora: MSc Vanessa Salette Daga

CURITIBA
2016



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

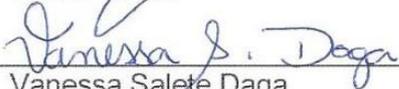
TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

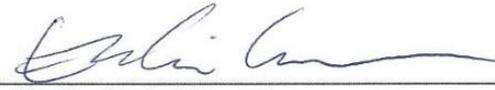
VICTOR YAMAGAMI TAKAHASHI

HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA ASSOCIADA ÀS MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS
ANTROPOGÊNICAS: CIENCIOMETRIA E HIERARQUIZAÇÃO DE HIPÓTESES

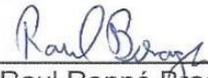
Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 100,0 pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): 
Jean Ricardo Simões Vitule
DEA / UFPR

Co-orientador(a): 
Vanessa Salete Daga
Zoologia / UFPR

Membro(a) 1: 
Emílio G. F. Mercuri
DEA / UFPR

Membro(a) 2: 
André A. Padial
Botânica / UFPR

Membro(a) 3: 
Raul Rennó Braga
UFPR

Curitiba, 14 de dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Jean Ricardo Simões Vitule, pelas aulas durante a graduação, incentivo ao aprendizado na área de ecologia e por ter aceitado orientar este trabalho.

À minha coorientadora, Vanessa Salete Daga, por todo apoio, ensinamentos e comprometimento através das constantes reuniões, fundamentais para a concretização deste trabalho.

Ao coordenador do curso de Engenharia Ambiental, professor Emílio Graciliano Ferreira Mercuri, pelas aulas durante a graduação e por ter aceitado compor a banca de avaliação.

Ao Raul Rennó Braga e aos professores André Andrian Padial e Vinícius Abilhoa, por terem aceitado compor a banca de avaliação.

PREFÁCIO

O presente manuscrito apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná, por ocasião da conclusão das atividades da disciplina TT037 Projeto Final de Engenharia Ambiental II, está formatado sob as normas do jornal científico *Ambio - A Journal of the Human Environment*, com o objetivo de submetê-lo à publicação após seu deferimento.

Ambio é um jornal científico com foco na relação entre as atividades antropogênicas e o ambiente, abordando os fatores científicos, sociais, econômicos e culturais que influenciam as condições do ambiente humano. Este jornal tem como objetivo principal publicar artigos visando o desenvolvimento na investigação ambiental, encorajando a apresentação de propostas multi e/ou interdisciplinares com recomendações plausíveis referentes à gestão ou políticas. Suas publicações possuem necessariamente um *link* claro entre atividades antropogênicas e o meio ambiente, ou vice-versa.

Buscando atender aos critérios do jornal *Ambio*, os itens referentes a forma do texto (linguagem e estilo), figuras, tabelas, nomenclatura e referências, foram enquadrados segundo as diretrizes do *Author Guidelines*, disponível no site do jornal (<http://www.springer.com/environment/journal/13280>).

O presente manuscrito pretendeu realizar o levantamento do estado da arte sobre a homogeneização biótica relacionada às modificações ambientais antropogênicas, visando compreender os mecanismos deste processo, principais impactos e lacunas referentes ao tema, para assim poder direcionar futuros estudos visando a conservação da biodiversidade.

RESUMO

A homogeneização biótica é um fenômeno global complexo e recorrente, envolvendo perdas e ganhos de espécies, devido à ações antrópicas como destruição do habitat, introdução de espécies não-nativas e extinção de espécies nativas. Tais ações antrópicas possuem uma forte relação com a dinâmica desse processo. Este trabalho propõe uma síntese sobre a homogeneização biótica associada às modificações ambientais antropogênicas, visando identificar possíveis lacunas e direcionar futuros estudos. Para tal, uma revisão sistematizada foi realizada, seguida de análise cienciométrica e do método de hierarquização de hipóteses (HoH). As principais modificações ambientais antropogênicas relacionadas ao processo de homogeneização foram urbanização e adensamentos humanos. A maioria dos artigos foram referentes à homogeneização taxonômica. O grupo vertebrados e o ambiente terrestre tiveram o maior número de estudos. A HoH ramificada em formas de homogeneização, escalas temporal e espacial e nível de escala amostral, constatou amplo suporte para a homogeneização biótica na maioria das sub-hipóteses.

Palavras-chave: diferenciação biótica, perda de biodiversidade, revisão sistematizada, introdução de espécies não-nativas, extirpação de espécies.

ABSTRACT

The biotic homogenization is a complex global and recurrent phenomenon, involving losses and gains of species due to anthropic actions such as habitat destruction, introduction of non-native species and extinction of native species. Such anthropic actions have a strong relation with the process's dynamics. This work proposes a synthesis on the biotic homogenization associated to anthropogenic environmental modifications, aiming to identify possible gaps and direct future studies. For this, a systematized review was performed, followed by a scientiometric analysis and the hierarchy of hypotheses method (HoH). The main anthropogenic environmental modifications related to the homogenization process were urbanization and human densities. Most of the articles were related to taxonomic homogenization. The vertebrate group and the terrestrial environment had the largest number of studies. The HoH branched into homogenization forms, temporal and spatial scales and sample scale level, found broad support for biotic homogenization in most of the sub-hypotheses.

Keywords: biotic differentiation, loss of biodiversity, systematic review, introduction of non-native species, species extirpation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1 - MAPA ILUSTRATIVO REPRESENTADO O NÚMERO DE ARTIGOS E PORCENTAGEM DOS DIFERENTES TIPOS DE HOMOGENEIZAÇÃO PARA CADA REGIÃO ZOOGEOGRÁFICA. O FRAMEWORK ABRANGENTE É REPRESENTADO PELA LETRA A E O FRAMEWORK RESTRITIVO É REPRESENTADO PELA LETRA R. MAPA MODIFICADO DE: KREFT E JETZ (2010).25
- FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO (NÚMERO) DE ARTIGOS E PESO RELATIVO (W) CALCULADO ATRAVÉS DA EQUAÇÃO (1) PARA CADA UMA DAS REVISTAS.....26
- FIGURA 3 – VARIAÇÃO DO NÚMERO DE ARTIGOS ENCONTRADOS POR ANO.27
- FIGURA 4 - VARIAÇÃO NO NÚMERO DE ARTIGOS SOBRE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA ASSOCIADA À MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS ANTROPOGÊNICAS ENTRE 2000 E 2016.27
- FIGURA 5 - PORCENTAGEM DE ARTIGOS PARA CADA TIPO DE MODIFICAÇÃO AMBIENTAL ANTROPOGÊNICA. O NÚMERO SOBRE AS BARRAS REPRESENTA O NÚMERO ABSOLUTO DE ARTIGOS PARA A RESPECTIVA MODIFICAÇÃO AMBIENTAL ANTROPOGÊNICA.....29
- FIGURA 6 - NÚMERO ACUMULADO DE ARTIGOS PUBLICADOS AO LONGO DO TEMPO PARA CADA GRUPO TAXONÔMICO (A). PORCENTAGEM DO RESULTADO PUBLICADO REFERENTE AOS ARTIGOS CLASSIFICADOS EM *FRAMEWORK* RESTRITIVO AVALIADO PARA CADA GRUPO TAXONÔMICO (B).30
- FIGURA 7 - PORCENTAGEM DO TIPO DE HOMOGENEIZAÇÃO (GENÉTICA, FUNCIONAL, TAXONÔMICA E TAXONÔMICA/FUNCIONAL) COM RELAÇÃO AOS GRUPOS TAXONÔMICOS (A), TIPOS DE MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS ANTROPOGÊNICAS (B) E TIPO DE AMBIENTE (C).32
- FIGURA 8 - NÍVEL DE SUPORTE PARA A SUB-HIPÓTESE FORMAS DE HOMOGENEIZAÇÃO BASEADO NAS OBSERVAÇÕES PONDERADAS.

LETRAS SOBRE AS BARRAS INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS (TESTE U, $P < 0,05$).	34
FIGURA 9 - NÍVEL DE SUPORTE PARA A SUB-HIPÓTESE ESCALA TEMPORAL BASEADO NAS OBSERVAÇÕES PONDERADAS. LETRAS SOBRE AS BARRAS INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS (TESTE U, $P < 0,05$).	35
FIGURA 10 - NÍVEL DE SUPORTE PARA A SUB-HIPÓTESE ESCALA ESPACIAL BASEADO NAS OBSERVAÇÕES PONDERADAS. LETRAS SOBRE AS BARRAS INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS (TESTE U, $P < 0,05$).	36
FIGURA 11 - FLUXOGRAMA REPRESENTANDO A CLASSIFICAÇÃO DAS OBSERVAÇÕES PROPOSTA PELO MÉTODO DA HOH PARA O PROCESSO DE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA RELACIONADO AS MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS ANTROPOGÊNICAS. CRITÉRIOS DEFINIDOS PARA AS SUB-HIPÓTESES: 1) FORMAS DE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA (TAXONÔMICA E FUNCIONAL); 2) ESCALA TEMPORAL (CURTA: < 10 ANOS E LONGA: > 10 ANOS); 3) ESCALA ESPACIAL (PEQUENA: $1 - 300$ KM ² E GRANDE: > 300 KM ²); 4) NÍVEL DE ESCALA AMOSTRAL (NÍVEL 1: ANÁLISE ENTRE AMOSTRAS E NÍVEL 2: ANÁLISE DENTRO DE UMA DETERMINADA AMOSTRA JÁ PRÉ-ANALISADA NO NÍVEL 1).	37
FIGURA 12 - NÍVEL DE SUPORTE PARA A SUB-HIPÓTESE EXTENSÃO ESPACIAL BASEADO NAS OBSERVAÇÕES PONDERADAS. LETRAS SOBRE AS BARRAS INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS (TESTE U, $P < 0,05$).	38
FIGURA 13 - NÍVEL DE SUPORTE PARA A SUB-HIPÓTESE GRUPO TAXONÔMICO BASEADO NAS OBSERVAÇÕES PONDERADAS. LETRAS SOBRE AS BARRAS INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS (TESTE U, $P < 0,05$).	39
FIGURA 14 - NÍVEL DE SUPORTE PARA A SUB-HIPÓTESE MODIFICAÇÃO AMBIENTAL ANTROPOGÊNICA BASEADO NAS OBSERVAÇÕES PONDERADAS. LETRAS SOBRE AS BARRAS INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS (TESTE U, $P < 0,05$).	40

FIGURA 15 - NÍVEL DE SUPORTE PARA A SUB-HIPÓTESE REINOS ZOOGEOGRÁFICOS BASEADO NAS OBSERVAÇÕES PONDERADAS. LETRAS SOBRE AS BARRAS INDICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS (TESTE U, $P < 0,05$).....	41
FIGURA S1 - FLUXOGRAMA REPRESENTANDO AS ETAPAS DA REVISÃO SISTEMATIZADA E CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS ARTIGOS DURANTE A PRIMEIRA E SEGUNDA TRIAGEM.....	53
FIGURA S2 - FLUXOGRAMA DETALHANDO O PROCESSO DE SELEÇÃO E EXCLUSÃO DOS ARTIGOS DE ACORDO COM AS ETAPAS DA REVISÃO SISTEMATIZADA.....	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DADOS PONDERADOS PARA AS OBSERVAÇÕES SUPORTANDO E QUESTIONANDO A HIPÓTESE DE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA, PARA CADA NÍVEL DE SUB-HIPÓTESE.....	33
TABELA 2 - DADOS PONDERADO PARA AS OBSERVAÇÕES SUPORTANDO E QUESTIONANDO A HIPÓTESE DE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA, DE ACORDO COM A EXTENSÃO ESPACIAL, GRUPO TAXONÔMICO E REGIÃO ZOOGEOGRÁFICA.....	38
TABELA S1 - LISTA DE ARTIGOS SELECIONADOS.....	54
TABELA S2 – CONTAGEM SIMPLES (DADOS NÃO PONDERADOS) PARA AS OBSERVAÇÕES SUPORTANDO E QUESTIONANDO A HIPÓTESE DE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA, PARA CADA NÍVEL DE SUB-HIPÓTESE.	60
TABELA S3 – CONTAGEM SIMPLES (DADOS NÃO PONDERADOS) PARA AS OBSERVAÇÕES SUPORTANDO E QUESTIONANDO A HIPÓTESE DE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA, PARA CADA NÍVEL DE SUB-HIPÓTESE.	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 REVISÃO SISTEMATIZADA E CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS ESTUDOS	17
2.2 ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA.....	19
2.3 HIERARQUIZAÇÃO DE HIPÓTESES	21
3. RESULTADOS	24
3.1 ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA.....	24
3.2 HIERARQUIZAÇÃO DE HIPÓTESES	33
4. DISCUSSÃO	42
5. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48
APÊNDICES	52

1. INTRODUÇÃO

A perda de biodiversidade no cenário global atual tem sido acelerada de forma significativa nos últimos anos, devido principalmente às modificações ambientais antropogênicas, as quais aliadas à intensificação da introdução de espécies não-nativas generalistas e de ampla distribuição, têm levado ao aumento nas taxas de extinção de espécies únicas ou raras, fato este que não poderá ser sustentado sem minar significativamente a resiliência e as funções dos ecossistemas (McKinney e Lockwood 1999; Olden 2006; Rockström et al. 2009). Neste contexto, tais mudanças na diversidade biológica global têm contribuído para aumentar a similaridade da biota do planeta (McKinney e Lockwood 2001), ocasionando o processo conhecido como homogeneização biótica, um dos principais fenômenos responsáveis pela atual crise da biodiversidade.

O termo homogeneização biótica foi definido primeiramente como a substituição da biota nativa por espécies não-nativas, usualmente como resultado da introdução promovida pela ação humana (McKinney e Lockwood 1999). Posteriormente, a definição incorporou a ideia de aumento da similaridade entre biotas ao longo do tempo (Rahel 2002). Em seguida, Olden et al. (2004), definiu três formas de homogeneização biótica: funcional, genética e taxonômica. Mais recentemente, Olden e Rooney (2006) sintetizaram a definição do termo como a perda de diversidade beta ao longo do tempo. O processo contrário, quando comunidades tornam-se diferentes ao longo do tempo (i.e. diminuição da similaridade da comunidade), é denominado como diferenciação biótica (Olden e Poff 2003).

A dinâmica do processo de homogeneização é dependente de diferentes escalas temporais e espaciais, as quais devem ser consideradas juntamente com os mecanismos deste processo (modificações ambientais, introdução de espécies não-nativas, extinção de espécies), como os principais fatores determinantes na avaliação das três formas de homogeneização descritas anteriormente (Olden 2006). Por exemplo, Clavero e García-Berthou (2006) demonstram como o processo de homogeneização biótica para peixes de água doce na Península Ibérica foi influenciado pela complexidade da dinâmica temporal. Com relação à escala espacial, diversas publicações têm mostrado sua influência na percepção do processo de homogeneização biótica (Marchetti et al. 2001; Olden e Poff 2004; Taylor 2004; Olden et al. 2008). Por exemplo, Olden et al. (2008) realizou um estudo em nível continental

na Austrália, utilizando os dados de presença/ausência de peixes para diferentes bacias hidrográficas em diferentes escalas espaciais, constatando que a avaliação em grande/pequena escala espacial determina diferenças na dinâmica do processo.

Adicionalmente, estudos recentes têm verificado o aumento da ocorrência do processo de homogeneização biótica associada, principalmente, ao desenvolvimento e expansão da sociedade humana, através das mais diversas alterações que o homem tem provocado ao meio ambiente (McKinney 2006; Olden et al. 2008). Dentre as diversas modificações ambientais, a urbanização, construção de reservatórios e canais, exploração madeireira, agricultura e fragmentação de habitats estão entre os maiores responsáveis pelo processo de homogeneização biótica, o qual tem sido detectado em diferentes grupos taxonômicos (McKinney 2006; Olden et al. 2008; Vitule e Pozenato 2012; Vitule et al. 2012; Gámez-Virués et al. 2015; Siqueira et al. 2015; Solar et al. 2015).

O processo de urbanização é promovido pela construção de grandes centros urbanos sustentados por diversos tipos de obras de infraestrutura de suporte para esses, incluindo aeroportos, edifícios, reservatórios de água para abastecimento público ou para geração de energia, entre outros. Esses tipos de construções, por serem fisicamente similares em termos de suas estruturas e funções, acabam destruindo o habitat original de espécies nativas e até mesmo dificultando a adaptação dessas espécies ao novo ambiente. Além disso, podem favorecer a introdução e dispersão de espécies não-nativas, as quais estão normalmente associadas com as atividades humanas (McKinney 2006). O fato de simplificar o ambiente físico faz com que a urbanização intensifique o processo de homogeneização biótica, sendo uma das principais causas da extinção de espécies (e.g. McKinney 2005, 2006; Marchetti et al. 2006; Sol et al. 2014; Vallejos et al. 2016).

Em ambientes terrestres, áreas destinadas à agricultura sofrem intensas alterações que mudam a composição do solo e biota locais, de modo a contribuir com a invasão de espécies não-nativas. A fragmentação de habitats causada pelo desmatamento, construção de rodovias e linhas de trens, podem favorecer o aumento da riqueza e o estabelecimento de espécies não-nativas, contribuindo assim para o processo de expansão dessas espécies generalistas, em detrimento das espécies nativas únicas (e.g. McKinney e Lockwood 2001; Scott 2006; Lockwood et al. 2007). De maneira similar, no ambiente aquático de água doce, diversos tipos de modificações como construção de canais e reservatórios, têm levado à substituição

de comunidades nativas por comunidades não-nativas cosmopolitas (Rahel 2002; Clavero e Hermoso 2011). Por exemplo, a construção de canais e reservatórios, causam a alteração dos fluxos naturais da água em determinados locais, permitindo a conexão entre ambientes aquáticos anteriormente isolados, favorecendo a dispersão de espécies não-nativas, acelerando assim o processo de invasão e a mistura entre biotas distintas (e.g. Rahel 2002, 2007; Clavero e Hermoso 2011; Petesse e Petrere Jr. 2012; Vitule et al. 2012; Daga et al. 2015).

Devido ao crescimento da população humana, de sua concentração em ambientes urbanos e do elevado potencial de movimentação e transporte de espécies, associados à globalização e favorecidos pela homogeneização do ambiente físico, é esperado que o fenômeno de homogeneização biótica aumente no futuro (McKinney 2005). Além disto, a simplificação tanto de ambientes aquáticos como terrestres, faz com que muitos habitats que favorecem a introdução e estabelecimento de espécies não-nativas sejam criados a partir dos efeitos das modificações antropogênicas. Como consequência, há uma restrição da persistência de espécies nativas, especialmente as raras e já ameaçadas (Marchetti et al. 2006; McKinney 2006). Por isso, torna-se necessário a compreensão mais generalizada e o conhecimento dos fatores determinantes que levam a esse processo, assim como suas implicações e consequências, para que medidas possam ser tomadas de maneira a frear sua ocorrência.

Estudos empíricos com enfoque sobre os principais fatores determinantes do processo de homogeneização foram elaborados e inicialmente quantificados por Rahel (2000) e Olden e Poff (2003). Ademais, diversos artigos têm analisado a introdução e o estabelecimento de espécies não-nativas como um dos principais mecanismos do processo de homogeneização biótica (e.g. McKinney 2004; Clavero e García-Berthou 2006), sendo que o mesmo padrão não é observado quanto aos efeitos das modificações ambientais antropogênicas. Isso mostra que, apesar do aumento no número de estudos envolvendo o processo de homogeneização biótica em conjunto com as modificações ambientais (e.g. Olden et al. 2008; Petesse e Petrere Jr. 2012; Vitule et al. 2012; Daga et al. 2015), poucos avaliam esta relação de forma mais ampla, integrando diferentes fatores determinantes do processo, como escalas espaciais e temporais, a fim de relacionar os tipos mais recorrentes de modificações ambientais antropogênicas e seus efeitos na homogeneização da biota (Olden et al. 2008; Solar et al. 2015). Portanto, revisar o tema considerando os

principais artigos sobre o assunto é uma importante maneira de elucidar e sintetizar o que já se sabe até o presente momento sobre esse processo, bem como o que podemos esperar a respeito dos novos estudos. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão sistematizada a fim de identificar, avaliar e sintetizar os estudos existentes, gerando um panorama geral sobre o assunto. Uma das principais características desse tipo de revisão é a utilização de critérios claros e pré-definidos para a realização da pesquisa, que a permitem ser replicada e atualizada posteriormente (Littel et al. 2008; Uman 2011; Lowry et al. 2013).

A partir da revisão sistematizada, foram utilizadas duas abordagens, uma cienciométrica, buscando verificar o atual estado da arte referente ao processo de homogeneização biótica associada aos ambientes alterados por ações antropogênicas. Em seguida, o método de Hierarquização de Hipóteses (HoH - Heger e Jeschke 2014) foi empregado, visando classificar os estudos empíricos sobre o tema (i.e. homogeneização biótica associada às modificações ambientais antropogênicas) em sub-hipóteses mais específicas e testáveis. Com isto, espera-se: *i)* verificar a distribuição geográfica e temporal dos estudos; *ii)* avaliar quais revistas possuem o maior número de artigos publicados sobre o assunto *iii)* identificar quais são as principais modificações ambientais antropogênicas associadas ao processo de homogeneização biótica; *iv)* determinar quais grupos taxonômicos têm sido o principal foco dos estudos; *v)* verificar se os grupos taxonômicos, as modificações ambientais antropogênicas e os tipos de ambientes encontrados diferem quanto sua influência sobre as diferentes formas de homogeneização; *vi)* identificar e relacionar os estudos sobre homogeneização biótica como sub-hipóteses; *vii)* classificar as sub-hipóteses de acordo com seu nível de suporte; *viii)* determinar lacunas e direcionar estudos futuros referentes ao processo de homogeneização biótica associada às modificações ambientais antropogênicas. Dessa forma, pretende-se contribuir com a elucidação do processo de homogeneização biótica, dada a importância deste fenômeno frente às questões que envolvem a conservação da biodiversidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 REVISÃO SISTEMATIZADA E CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS ESTUDOS

A revisão sobre o tema foi conduzida na plataforma Thomson Reuters, ISI *Web of Science* (<http://thomsonreuters.com/thomson-reuters-web-of-science/>), uma das principais bases de dados para periódicos indexados. As seguintes palavras-chave foram utilizadas para a busca na opção “Tópico”: (*homogeni?ation* OR *differentiation* OR "*beta diversity*") AND (*biota* OR *biodiversity* OR *taxa* OR *taxon* OR *func** OR *gene**) AND (*habitat* OR *ecosystem* OR *landscape*) AND (*modific** OR *altera** OR *chang**). O símbolo “?” em “*homogeni?ation*” permite que sejam encontrados os termos escritos com variantes de letras ou símbolos, nesse caso específico, pois a palavra pode ser escrita com “s” ou “z”. O símbolo “*” foi utilizado de forma a se obter todos as possíveis variantes em sufixos ou prefixos, nesse caso dos termos nos quais estava presente, como e.g. “*changes*” e “*changing*” no caso do termo “*chang**”. O termo “*beta diversity*” consta entre aspas para que seja encontrada apenas a palavra composta e não seus componentes separadamente (Figura S1, Apêndice 1). A busca foi restrita ao período de 1999-2016, pois o ano de 1999 marca o surgimento da definição do termo “homogeneização biótica” (i.e. McKinney e Lockwood 1999).

Em seguida, a busca foi refinada em três etapas utilizando-se a opção “*refine*” no *Web of Science*, visando obter uma amostra considerável dos artigos retornados na busca. Primeiramente, por “áreas de pesquisa”, selecionando as seguintes áreas: *ECOLOGY*, *EVOLUTIONARY BIOLOGY*, *BIODIVERSITY CONSERVATION*, *GENETICS HEREDITY*, *ENVIRONMENTAL SCIENCE*. Seguido de “tipo de documento”: *ARTICLE*, e por último de acordo com os “títulos da fonte”, no qual as 20 primeiras revistas com o maior número de artigos publicados foram selecionadas: *MOLECULAR ECOLOGY*, *CONSERVATION GENETICS*, *JOURNAL OF BIOGEOGRAPHY*, *BIOLOGICAL CONSERVATION*, *ECOLOGY*, *BIODIVERSITY AND CONSERVATION*, *BMC EVOLUTIONARY BIOLOGY*, *DIVERSITY AND DISTRIBUTIONS*, *ECOLOGY AND EVOLUTION*, *JOURNAL OF ECOLOGY*, *GLOBAL ECOLOGY AND BIOGEOGRAPHY*, *OECOLOGIA*, *HEREDITY*, *PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B BIOLOGICAL SCIENCES*, *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY*, *GLOBAL CHANGE BIOLOGY*, *ECOGRAPHY*, *LANDSCAPE ECOLOGY* e *JOURNAL OF*

VEGETATION SCIENCE.

Após a aplicação desses filtros para refinar a busca, os artigos encontrados foram submetidos à primeira triagem. Esta etapa envolveu a leitura do título e resumo de cada artigo, com o intuito de avaliar se o estudo era relevante para a proposta deste trabalho, mais precisamente buscando verificar se o estudo abordava sobre o processo de homogeneização biótica relacionado a algum tipo de modificação ambiental antropogênica. Finalizada esta etapa, o restante dos artigos passou pela segunda triagem, a qual consistiu na leitura completa dos artigos, afim de se verificar quais estudos haviam de fato quantificado o processo de homogeneização biótica em decorrência de uma modificação ambiental antropogênica. Os artigos que não se enquadraram nos critérios acima citados, tanto da primeira quanto da segunda triagem foram descartados, pois não estavam relacionados diretamente ao enfoque desta revisão. Além disso, artigos contendo o termo “diferenciação genética” largamente utilizado em assuntos sobre genética, porém que não apresentaram relação com o processo de homogeneização biótica, foram excluídos. Artigos teóricos, meta-análises e revisões não foram incluídos. (Figura S1, Apêndice 1).

Dessa forma, os artigos que atenderam aos nossos critérios de seleção, foram ainda classificados em dois tipos: *framework* abrangente e *framework* restritivo. Esta classificação teve o intuito de separar os artigos de acordo com a estruturação de suas metodologias, quanto à utilização das escalas temporal e espacial, fundamentais para quantificar o processo de homogeneização biótica (Olden et al. 2004, Olden e Rooney 2006):

- i) *Framework* abrangente: artigos que não quantificaram o processo de homogeneização *per se*, entretanto sugerem uma relação entre as modificações ambientais antropogênicas e as mudanças na similaridade da comunidade. Estes estudos não foram baseados na identidade das espécies ou não avaliaram como a composição das espécies mudou ao longo do tempo, porém ainda assim fornecem alguma evidência geral, mesmo que fraca, do processo de homogeneização biótica (Olden e Roney 2006).
- ii) *Framework* restritivo: artigos que realmente quantificaram as mudanças na similaridade da comunidade entre locais em dois períodos no tempo (Olden e Rooney 2006), relacionados ainda com

algum tipo de modificação ambiental antropogênica. Os estudos desta classificação forneceram uma evidência forte do processo de homogeneização biótica, pois avaliaram a identidade das espécies, quantificando como a composição das espécies mudou ao longo do tempo.

2.2 ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA

Dos artigos que se encaixaram nos critérios de seleção estabelecidos anteriormente, as seguintes informações foram extraídas para análise: ano de publicação, revista, região zoogeográfica onde o estudo foi conduzido (regiões propostas por Wallace, 1876: Australiana, Neártica, Neotropical, Oriental, Paleoártica e Etiópica), grupo taxonômico (plantas, invertebrados e vertebrados que foram subdividido em: aves, peixes, mamíferos e anfíbios/répteis), tipo de ambiente onde o estudo foi conduzido (terrestre, água doce e marinho), e tipo de modificação ambiental antropogênica. Esta última foi classificada em seis diferentes categorias: *i*) exploração e queimadas, *ii*) mudanças climáticas, *iii*) fragmentação de habitats, *iv*) agropecuária, *v*) urbanização e povoamento e, *vi*) multi (para artigos que avaliaram mais de uma das categorias anteriores, onde não foi possível individualizar as contagens).

Com base nestas informações, a porcentagem das diferentes formas de homogeneização biótica foi calculada de acordo com as regiões zoogeográficas. Tal porcentagem foi expressa como frequência relativa, com base no número de artigos registrados para cada uma das formas de homogeneização biótica, como proporção do número total de artigos em cada região zoogeográfica.

A distribuição de artigos (número de artigos) por revista foi calculada, a fim de avaliar quais revistas tem publicado o maior número de artigos relacionados ao tema, durante o período de nossa busca. Entretanto, a quantidade de artigos publicados pelas diferentes revistas em um determinado período variou consideravelmente. Dessa forma, a fim de verificar quais revistas publicaram mais artigos relacionados à homogeneização biótica, com relação ao número total de artigos publicados para cada revista, o peso relativo de cada revista (w) foi calculado, através da fórmula sugerida por Braga et al. (2012):

$$w = \left(\frac{n}{p \times e \times y} \right) \times 1000 \quad (1)$$

sendo: n o número de artigos resultantes da nossa busca para cada revista, p o número médio de artigos publicados na primeira edição de cada ano (calculado como um sub-conjunto de 6 anos: 2000, 2003, 2006, 2009, 2012 e 2015), e o número médio de edições por ano e, y o número de anos em que a revista publicou artigos dentro do nosso período de busca (máximo de 18 anos, devido ao primeiro artigo ter sido publicado em 1999 e o último em 2016).

A fim de verificar a tendência temporal dos artigos que avaliaram homogeneização biótica relacionada às modificações ambientais antropogênicas, o número total de artigos, classificados como *framework* abrangente ou *framework* restritivo, foi contabilizado por ano. O número acumulado de artigos ao longo do tempo também foi calculado. Além disso, a proporção de artigos classificados para cada *framework* abrangente ou restritivo, que avaliaram o processo de homogeneização biótica de acordo com cada um dos tipos de modificação ambiental antropogênica foi calculada.

Para verificar a tendência temporal dos artigos de acordo com os grupos taxonômicos, o número de artigos acumulado ao longo do tempo que avaliaram homogeneização biótica associada às modificações ambientais antropogênicas para cada grupo taxonômico foi calculado. Além disso, o número de artigos reportando o resultado da dinâmica da homogeneização foi calculado para cada grupo taxonômico e expresso como uma porcentagem de uma mudança positiva (homogeneização) ou negativa (diferenciação) na similaridade da comunidade, entretanto apenas para os artigos classificados como *framework* restritivo.

Com o intuito de estimar a proporção de estudos que tenham avaliado cada uma das formas de homogeneização (genética, funcional, taxonômica, ou que tenham avaliado conjuntamente homogeneização taxonômica/funcional), de acordo com os diferentes grupos taxonômicos, tipos de modificação ambiental antropogênica e tipo de ambiente, o número de artigos avaliando cada uma das formas de homogeneização biótica foi calculado como proporção do número total de artigos para cada grupo taxonômico, tipo de modificação ambiental antropogênica e tipo de ambiente.

2.3 HIERARQUIZAÇÃO DE HIPÓTESES

O método de Hierarquização de Hipóteses (HoH) tem por objetivo esclarecer um assunto complexo, atuando como uma ferramenta para organizar e avaliar os resultados da revisão sistematizada, através da divisão de uma hipótese geral em sub-hipóteses menores, de forma que em seu último nível, tais sub-hipóteses sejam específicas o suficiente para serem comparadas e testadas de forma empírica e mais realisticamente falseáveis (Heger e Jeschke 2014). A hipótese topo precisa ser ampla e geral para que possam ser inseridas todas as suas variantes mais específicas, através da ramificação (Jeschke et al. 2012; Heger e Jeschke 2014). Dessa forma, a HoH foi aplicada apenas aos artigos do *framework* restritivo, sendo as sub-hipóteses classificadas com base nos seguintes critérios:

- 1) Formas de homogeneização: em que nível de organização (isto é, genético, funcional ou taxonômico) as mudanças na distinção biológica entre um conjunto de comunidades ao longo do tempo ocorreram.
 - 1.1) Funcional: aumento da similaridade funcional entre duas ou mais comunidades ao longo do tempo;
 - 1.2) Taxonômica: aumento na similaridade da comunidade ao longo do tempo.
 - 1.3) Genética: aumento da similaridade genética da comunidade ao longo do tempo.
- 2) Escala Temporal: a extensão temporal variou acordo com os períodos de tempo considerados, sendo classificadas como:
 - 2.1) Curta: ≤ 10 anos;
 - 2.2) Longa: > 10 anos.
- 3) Escala Espacial: a extensão espacial variou em tamanho de acordo com a seguinte classificação:
 - 3.1) Pequena: $0 - 300 \text{ km}^2$;
 - 3.2) Grande: $> 300 \text{ km}^2$.
- 4) Nível de escala amostral: considerou como foram feitas as comparações dos locais entre as amostras espaciais, de acordo com a seguinte classificação:

4.1) Nível 1: subdivisão analítica para a comparação dos locais entre as amostras;

4.2) Nível 2: subdivisão analítica para a comparação dos subconjuntos locais dentro de uma determinada amostra já pré-analisada em um nível hierárquico maior (i.e. nível 1).

Cada combinação dos critérios acima citados foi considerada uma sub-hipótese da ampla hipótese de homogeneização. A maioria dos artigos analisados testou uma dessas sub-hipóteses, ou mais de uma sub-hipótese. Assim, com o objetivo de ter um conjunto de dados completo e reter todas as informações possíveis, cada teste de cada sub-hipótese foi adicionado separadamente. Desta maneira, a contagem final dos testes superou o número inicial de artigos selecionados (8 artigos) para esta abordagem, pois muitas vezes foi considerado mais de um teste para um único artigo. Por exemplo, um artigo pode ter utilizado diversos grupos taxonômicos para avaliar o processo de homogeneização biótica em uma mesma região. Neste caso, ele resultaria em diferentes observações (i.e. diferentes testes, sendo um para cada grupo taxonômico). Este termo observações, foi utilizado doravante para a análise da HoH.

Seguindo a abordagem acima proposta para a HoH (Jeschke et al. 2012, Heger e Jeschke et al. 2014), cada observação obtida dos artigos classificados no *framework* restritivo foi categorizada como suportando ou questionando uma determinada sub-hipótese. Suportando para as observações que estavam de acordo com a hipótese principal, portanto que constataram homogeneização biótica. Questionando para aquelas observações que refutaram a hipótese, ou seja, que constataram diferenciação biótica. Ao final, a grande maioria das observações forneceu informações em todos os níveis de sub-hipóteses.

Além disso, informações adicionais foram compiladas para cada observação, como: tipo de cenário (cenário considerando apenas a introdução de espécies ou cenário considerando introdução/extinção de espécies; de acordo com Olden e Poff, 2003), divisão territorial (política ou biogeográfica), extensão espacial (classificada como: regional, provincial, continental ou global), grupo taxonômico (plantas, invertebrados e vertebrados) e região zoogeográfica onde o estudo foi conduzido (proposta por Wallace 1876), já descritos acima. Para a extensão espacial, a extensão regional foi considerada a menor unidade amostral (por exemplo, *plots* em uma única

região). A extensão provincial foi considerada quando duas ou mais regiões foram analisadas.

Portanto, cada observação diferiu de acordo com estes aspectos (tipo de cenário, escalas espacial e temporal, extensão espacial), os quais são de grande importância quando avaliando o processo de homogeneização biótica. Por exemplo, quando comparando os resultados destas observações, maior peso deve ser atribuído aos resultados de observações que: 1) consideraram o cenário de introdução/extinção de espécies; 2) avaliaram suas amostras em uma pequena escala espacial, porém 3) utilizando uma extensão espacial ampla (propiciando assim uma grande abrangência espacial do estudo); 4) utilizaram uma escala de tempo longa e 5) consideraram as divisões biogeográficas. Sendo assim, com base em nosso conhecimento, essas informações são determinantes para a avaliação da dinâmica da homogeneização biótica, permitindo diferenciar cada observação através da atribuição de pesos para cada uma dessas características principais. Para tal, o peso de cada observação foi calculado utilizando uma adaptação da fórmula sugerida por Heger e Jeschke (2014):

$$h = c \times s \times e \times t \times d \quad (2)$$

onde: c é uma pontuação para o cenário (1 para o cenário apenas de introdução e 2 para o cenário de introdução/extinção), s é uma pontuação para a escala espacial (1 para grande e 2 para pequena), e é uma pontuação para a extensão espacial (1 para regional, 2 para provincial, 3 para continental e 4 para global), t é uma pontuação para a escala temporal (1 para curta e 2 para longa) e d é uma pontuação para o tipo de divisão territorial (1 para divisão política e 2 para divisão biogeográfica).

A fim de avaliar se o nível de suporte difere entre as sub-hipóteses, testes estatísticos foram realizados, com ambos dados ponderados e não-ponderados. Para os dados ponderados o peso proporcional para cada observação foi calculado. Tal cálculo consistiu na divisão do peso de cada observação (peso suportando e questionando) para determinada sub-hipótese, pela soma total dos pesos daquela mesma sub-hipótese (peso suportando mais peso questionando). O resultado foi multiplicado pelo número total de observações daquela sub-hipótese (Heger e Jeschke, 2014). Posteriormente, foram realizados testes U estatísticos de Mann-Whitney, para verificar se o nível de suporte diferiu entre as sub-hipóteses.

3. RESULTADOS

3.1 ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA

A busca inicial na base de dados resultou em um total de 3232 artigos, dos quais 853 foram selecionados a partir da utilização dos filtros, para a primeira triagem. Destes artigos, 216 foram retidos através da segunda triagem (Figura S2, Apêndice 1). Após as triagens, 49 se enquadraram nos nossos critérios de seleção (Tabela S1, Apêndice 1), avaliando qualitativa e/ou quantitativamente o processo de homogeneização biótica relacionando a algum tipo de modificação ambiental antropogênica. Dos 49 artigos, 41 foram classificados como *framework* abrangente, ou seja, apesar de avaliarem o processo de homogeneização biótica, estes artigos atenderam parcialmente os critérios de quantificação das mudanças na composição das espécies, na maioria das vezes carecendo de análises na escala temporal. A maioria dos estudos desta classificação forneceu uma ideia limitada (i.e. evidência fraca) do processo de homogeneização, pois avaliaram a riqueza de espécies ou examinaram o conjunto de espécies apenas em um período de tempo recente (sem avaliar a similaridade da comunidade em um período de tempo anterior). Os artigos restantes (8), foram classificados como *framework* restritivo, ou seja, quantificaram as mudanças na similaridade da comunidade entre diferentes escalas espaciais e temporais (Figura S2, Apêndice 1).

De acordo com as regiões zoogeográficas propostas por Wallace (1876), a região Paleártica teve o maior número de artigos, sendo 20 referentes ao *framework* abrangente e 1 ao *framework* restritivo, totalizando 21 artigos. Quanto ao *framework* abrangente, esta região também foi a que apresentou a maior diversificação quanto aos tipos de homogeneização estudada, apresentando 60,0% dos artigos sobre homogeneização taxonômica, seguido de 15,0% dos artigos que avaliaram homogeneização taxonômica/funcional conjuntamente, 15,0% dos artigos sobre homogeneização genética e 10,0% dos artigos sobre homogeneização funcional. Para o *framework* restritivo, o único artigo registrado quantificou homogeneização taxonômica (Figura 1).

A segunda região zoogeográfica mais estudada foi a Neoártica, com um total de 12 artigos, sendo 8 referentes ao *framework* abrangente e 4 ao *framework* restritivo. Para o *framework* abrangente, 62,0% dos artigos avaliaram homogeneização

taxonômica, seguidos de 25,0% dos artigos sobre homogeneização funcional e 13,0% sobre taxonômica/funcional simultaneamente. Para o *framework* restritivo, 75,0% dos artigos quantificaram homogeneização taxonômica e 25,0% homogeneização taxonômica/funcional conjuntamente (Figura 1).

A região Neotropical apresentou um total de 5 artigos, sendo 4 referentes ao *framework* abrangente e 1 ao *framework* restritivo. Entretanto, todos os artigos referentes a esta região zoogeográfica quantificaram homogeneização taxonômica (Figura 3). A região Etiópica teve apenas 3 artigos, todos referentes ao *framework* abrangente, dos quais 2 dos artigos avaliaram homogeneização taxonômica e 1 avaliou homogeneização genética (Figura 1).

As regiões Australiana e Oriental tiveram 3 artigos cada uma, sendo 2 referentes ao *framework* abrangente e 1 ao *framework* restritivo, para cada uma das regiões. Para o *framework* abrangente, ambas regiões tiveram 1 artigo avaliando homogeneização taxonômica e 1 artigo avaliando homogeneização taxonômica/funcional conjuntamente. Enquanto que para o *framework* restritivo, para ambas regiões, o único artigo registrado quantificou homogeneização taxonômica (Figura 1). Além disso, dois artigos avaliaram o processo de homogeneização taxonômica em uma escala global, considerando todas as regiões zoogeográficas em um *framework* abrangente, estes artigos não foram adicionados ao gráfico.

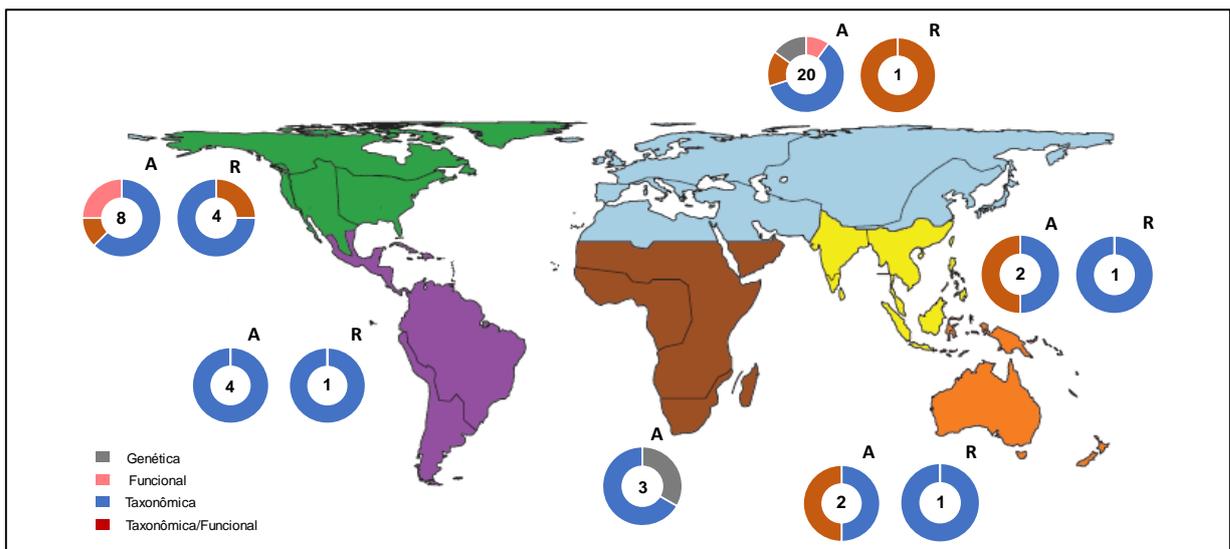


Figura 1 - Mapa ilustrativo representado o número de artigos e porcentagem dos diferentes tipos de homogeneização para cada região zoogeográfica. O *framework* abrangente é representado pela letra A e o *framework* restritivo é representado pela letra R. Mapa modificado de: Kreft e Jetz (2010).

Ao todo, após a triagem 12 revistas internacionais diferentes fizeram parte das publicações. *Biological Conservation* obteve o maior número de artigos e maior peso relativo ($w = 5,9$); sendo portanto, a revista com maior influência na pesquisa sobre o homogeneização biótica. A revista com menor peso *Molecular Ecology* ($w = 0,183$), teve somente um artigo publicado sobre homogeneização genética, a forma de homogeneização com menor frequência entre os artigos avaliados com exceção da revista *Conservation Genetics*, a qual registrou 3 artigos publicados também sobre homogeneização genética, as demais revistas registraram estudos referentes à homogeneização taxonômica e funcional (Figura 2).

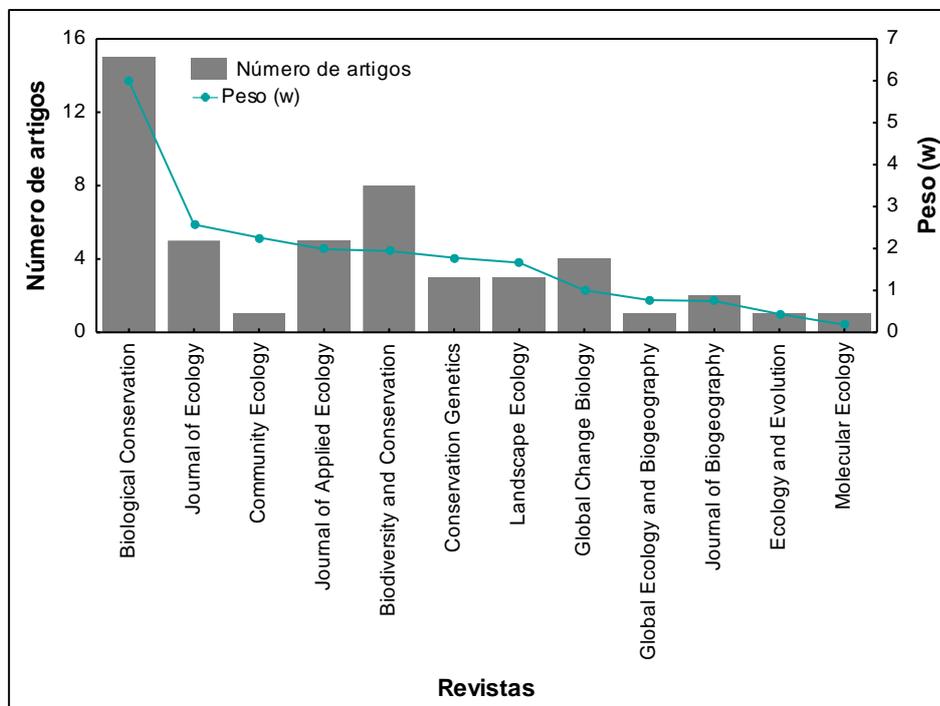


Figura 2 - Distribuição (número) de artigos e peso relativo (w) calculado através da equação (1) para cada uma das revistas.

O número de artigos começou a aumentar no início da década de 2000, poucos anos após a definição formal do termo homogeneização biótica, porém relacionando o tema a alguma forma de modificação ambiental antropogênica (Figura 4). Desde o início de 2000, a maioria dos artigos publicados corresponderam ao *framework* abrangente, sendo o ano de 2015, o que registrou o maior número de artigos publicados, com 8 artigos (Figura 4). Entretanto, a partir de 2006 começaram a surgir artigos correspondentes ao *framework* restritivo, porém o número desse tipo de artigo manteve-se constante ao longo dos anos, com no máximo dois artigos

publicados nos anos de 2008, 2009 e 2013 (Figura 4). A tendência de crescimento geral de artigos publicados sobre espécies não-nativas/invasoras pode ser comparada com os artigos encontrados na busca (Figura 3).

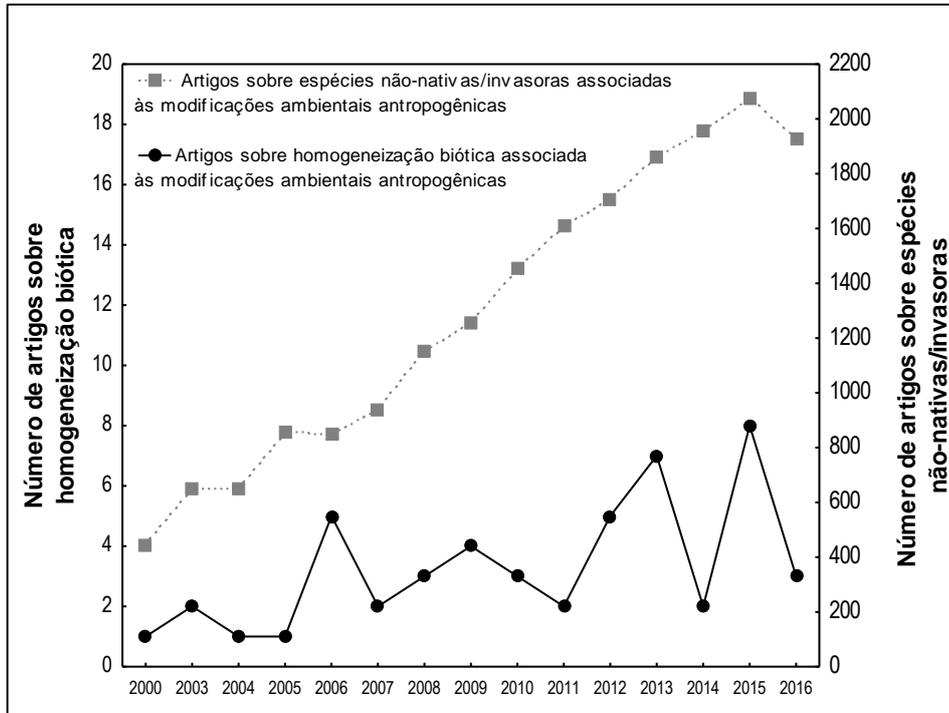


Figura 3 – Variação do número de artigos encontrados por ano.

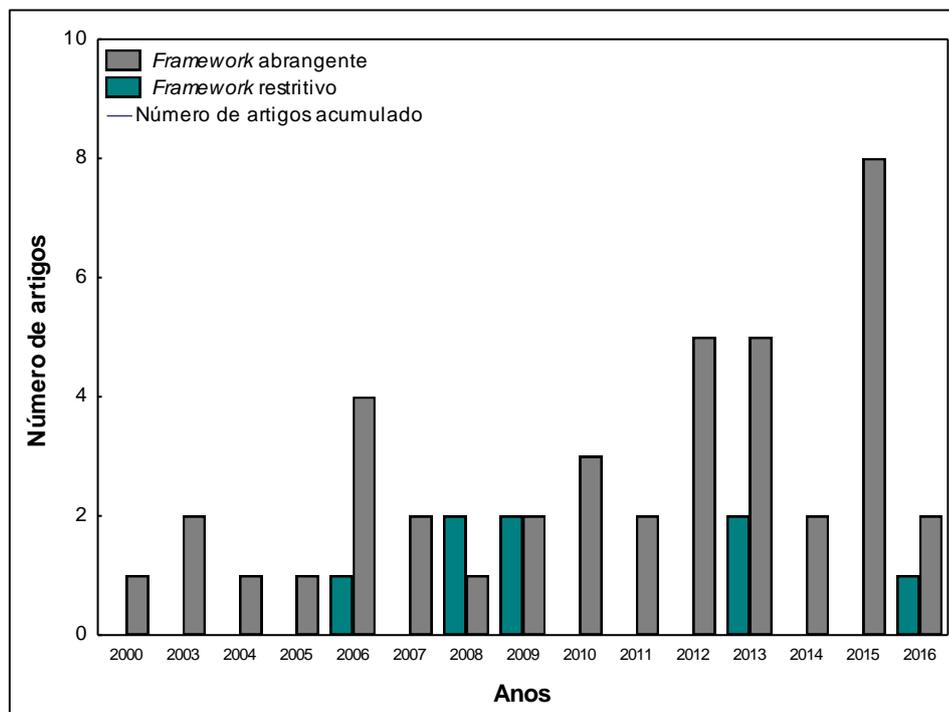


Figura 4 - Variação no número de artigos sobre homogeneização biótica associada às mudanças ambientais antropogênicas entre 2000 e 2016.

Diversos foram os tipos de modificações ambientais antropogênicas registradas, visto que cada estudo abordou pelo menos um tipo de alteração causada pelo homem. Ao todo, 35 artigos trataram sobre apenas um tipo de modificação ambiental antropogênica e 14 referiram-se a mais de um tipo (multi). Dentre as categorias de modificação ambiental antropogênica, as categorias multi e urbanização e povoamento registraram o maior número de artigos, com 14 artigos cada. Para a categoria multi, a maioria dos artigos (11) foi referente ao *framework* abrangente enquanto três corresponderam ao *framework* restritivo. Para a urbanização e povoamento o maior número de artigos foi registrado para o *framework* abrangente (9), enquanto cinco artigos foram referentes ao *framework* restritivo. Para as demais categorias todos os artigos foram referentes ao *framework* abrangente, sendo que a categoria agropecuária registrou 10 artigos, seguida de fragmentação de habitats com cinco artigos, mudanças climáticas e exploração e queimadas com três artigos cada (Figura 5). Em uma análise temporal sobre os artigos de homogeneização biótica, as modificações relacionadas a agropecuária foram as primeiras a ter artigos publicados, seguidas de urbanização e povoamento e, fragmentação de habitats. Os artigos que contemplaram exploração e queimadas foram encontrados a partir de 2010, enquanto que os referentes às mudanças climáticas começaram a ser avaliados em 2012.

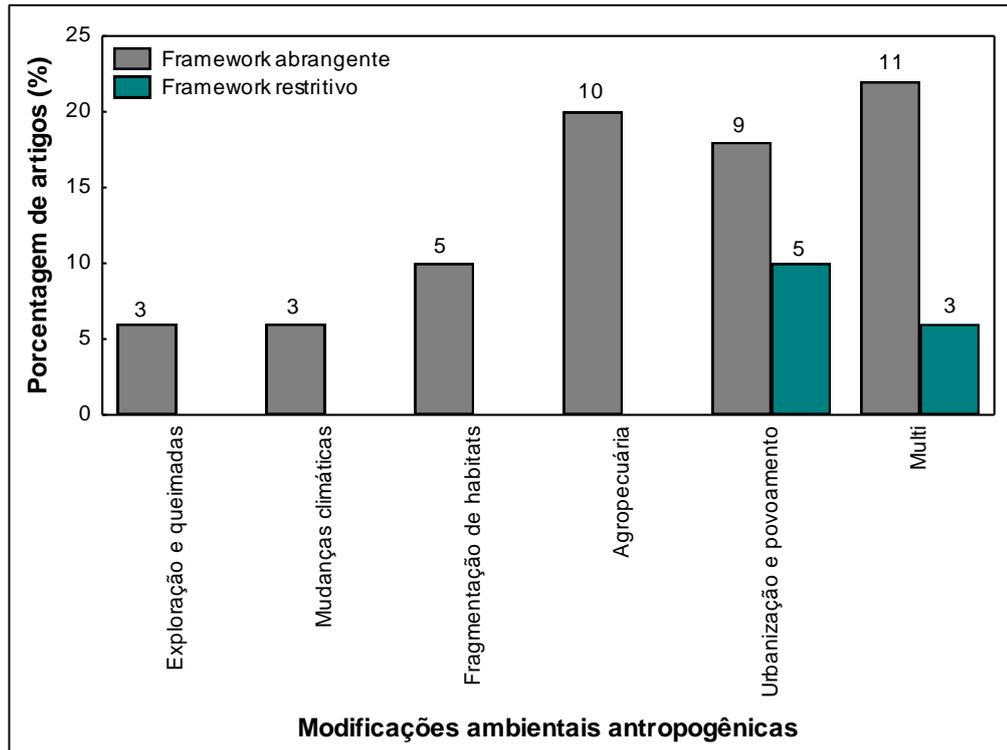


Figura 5 - Porcentagem de artigos para cada tipo de modificação ambiental antropogênica. O número sobre as barras representa o número absoluto de artigos para a respectiva modificação ambiental antropogênica.

Com relação aos grupos taxonômicos, a maioria dos artigos avaliou os vertebrados (17 no total em 2016), seguido de invertebrados (15 no total em 2016) e plantas (13 no total em 2016), enquanto a minoria dos artigos avaliou mais de um grupo taxonômico (quatro no total em 2016) (Figura 6A). Entre os vertebrados, as aves foram o grupo mais estudado, seguido dos peixes e anfíbios/répteis. O grupo dos invertebrados foi composto majoritariamente por insetos. De maneira geral, a maioria dos artigos referente ao *framework* restritivo documentaram um aumento na similaridade de comunidades biológicas (i.e. homogeneização biótica), em relação à diminuição da similaridade (i.e. diferenciação biótica) (Figura 6B). Quanto ao número de estudos expresso como porcentagem do efeito publicado para cada grupo taxonômico, apenas 2 estudos sobre peixes (12,5%) detectaram diferenciação biótica, enquanto 4 artigos para aves (25,0%), 3 para invertebrados (18,8%) e 6 para plantas (37,5%) constataram homogeneização biótica (Figura 6B).

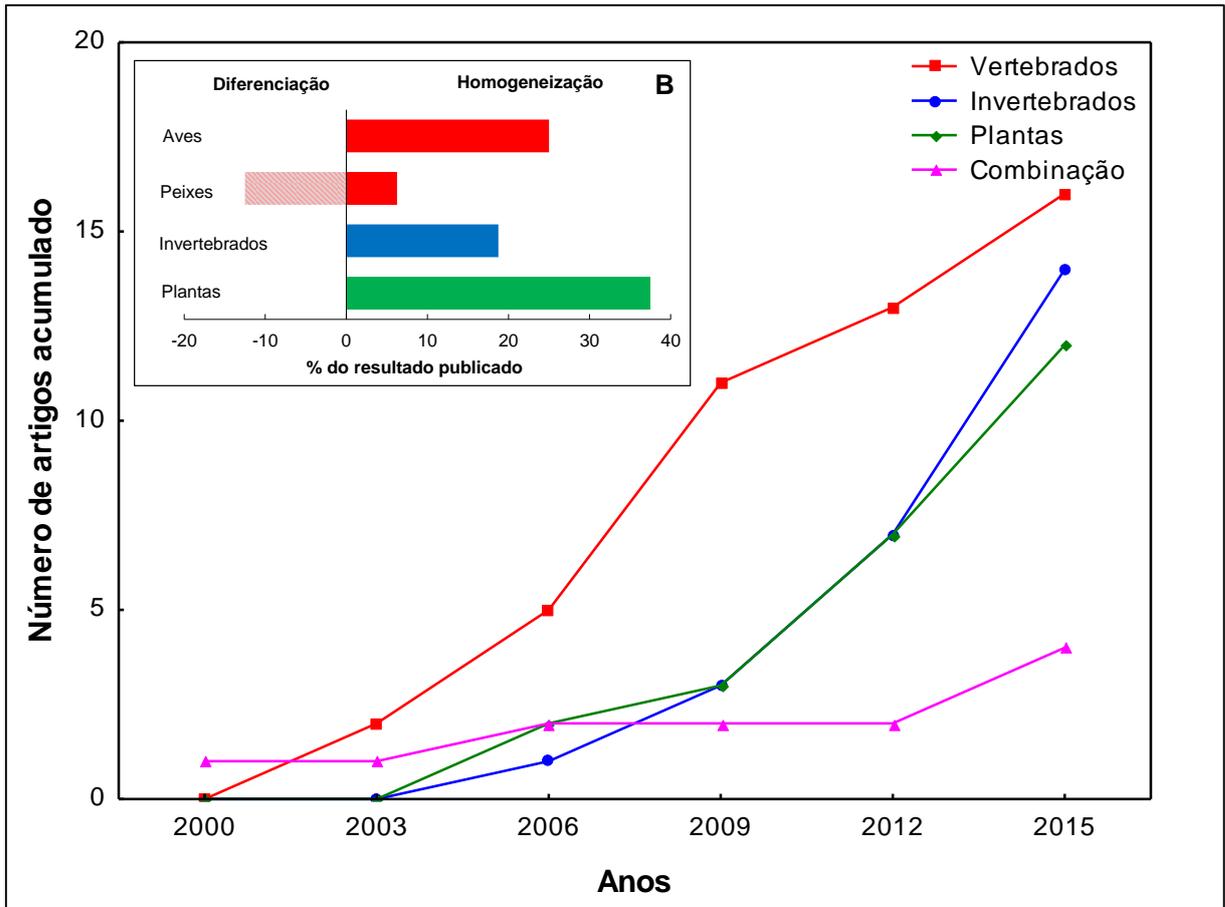


Figura 6- Número acumulado de artigos publicados ao longo do tempo para cada grupo taxonômico (A). Porcentagem do resultado publicado referente aos artigos classificados em *framework* restritivo avaliado para cada grupo taxonômico (B).

Do total de 49 artigos, a maioria (33 artigos) avaliou somente a homogeneização taxonômica (67,3%), 4 artigos foram referentes à homogeneização funcional e genética (8,1% cada) e 8 artigos avaliaram a homogeneização taxonômica/funcional conjuntamente (16,5%). Com relação aos grupos taxonômicos, a maioria dos artigos avaliaram homogeneização taxonômica, seguido de taxonômica/funcional conjuntamente e funcional (Figura 7A). Os vertebrados foram os únicos a registrar artigos referentes à homogeneização genética, e portanto, os únicos também a obterem as quatro formas de homogeneização. Os artigos que avaliaram mais que um grupo taxonômico, restringiram seus estudos apenas a homogeneização taxonômica (Figura 7A).

Quanto às modificações ambientais antropogênicas, dos artigos que apresentaram somente um tipo de modificação, urbanização e povoamento foram os únicos a constarem as quatro formas de homogeneização, com a maior porcentagem correspondendo para homogeneização taxonômica (57,0%), seguida de

taxonômica/funcional (29,0%), e funcional e genética (7,0% cada). Exploração e queimadas apresentou a maior proporção de artigos avaliando homogeneização taxonômica/funcional conjuntamente (66,7%), seguido de taxonômica (33,3%). Mudanças climáticas e agropecuária registraram a maior proporção de artigos avaliando homogeneização taxonômica (66,7% e 90,0%, respectivamente), seguido de funcional (33,3% e 10,0%, respectivamente). Fragmentação de habitats registrou a maior proporção de artigos avaliando homogeneização genética e taxonômica (40,0% cada) (Figura 7B).

Com relação ao ambiente de estudo, cerca de 40 artigos ocorreram no meio terrestre (82,0%), 8 artigos em água doce (16,0%) e apenas um artigo em ambos ambientes (2,0%), sendo este último sobre homogeneização taxonômica. Nenhum estudo foi constatado em ambiente marinho. Para os artigos avaliando o ambiente terrestre, os quatro tipos de homogeneização foram encontradas, sendo que a forma taxonômica apresentou a maior proporção de artigos avaliados (67,5%), seguido de homogeneização taxonômica/funcional conjuntamente (20,0%), funcional (10,0%) e genética (2,5%). No entanto, para o ambiente de água doce, a maior proporção de artigos avaliou homogeneização taxonômica (62,5%), seguido de genética (37,5%) (Figura 7C).

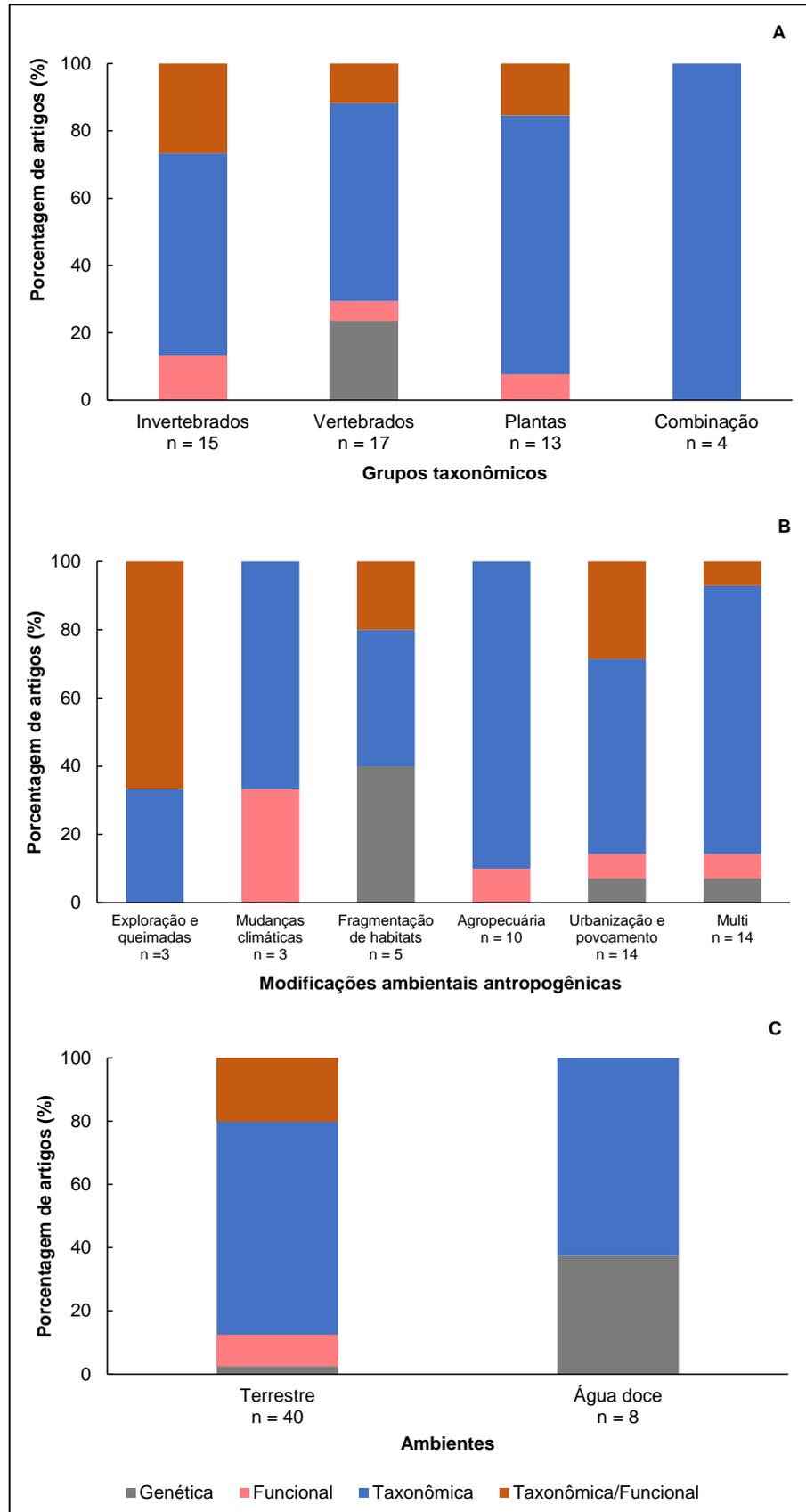


Figura 7 - Percentagem do tipo de homogeneização (genética, funcional, taxonômica e taxonômica/funcional) com relação aos grupos taxonômicos (A), tipos de modificações ambientais antropogênicas (B) e tipo de ambiente (C).

3.2 HIERARQUIZAÇÃO DE HIPÓTESES

A HoH foi realizada com base nos 8 artigos classificados como *framework* restritivo, os quais resultaram em 16 observações para as sub-hipóteses da hierarquização. Dentre as observações não-ponderadas, 14 suportaram a homogeneização biótica (87,5%) e duas questionaram (12,5%), portanto detectaram diferenciação biótica (Apêndice 2, Tabela S1). Considerando o peso atribuído às observações (como descrito na metodologia), um padrão similar foi observado, sendo 84,0% das observações suportando a homogeneização biótica e 16,0% questionando (Tabela 1). A maioria das observações foram referentes à homogeneização taxonômica (81,2%, n = 13), seguida das observações relacionadas à homogeneização funcional (18,8%, n = 3), entretanto, nenhuma diferença no nível de suporte foi encontrada entre as formas de homogeneização (Figura 8); com a maioria das observações suportando homogeneização (Tabela1). Para homogeneização funcional, todas as observações suportaram a homogeneização (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados ponderados para as observações suportando e questionando a hipótese de homogeneização biótica, para cada nível de sub-hipótese.

		n	Supportando (%)	Questionando (%)
Total		16	84,0	16,0
Taxonômica		13	80,5	19,5
Funcional		3	100,0	
<i>Escala temporal</i>				
	Longa	9	78,9	21,1
	Curta	7	100,0	
<i>Escala espacial</i>				
	Pequena	13	100,0	
	Grande	3	42,9	57,1
<i>Nível de escala amostral</i>				
	Nível 1	14	100,0	
	Nível 2	2		100,0

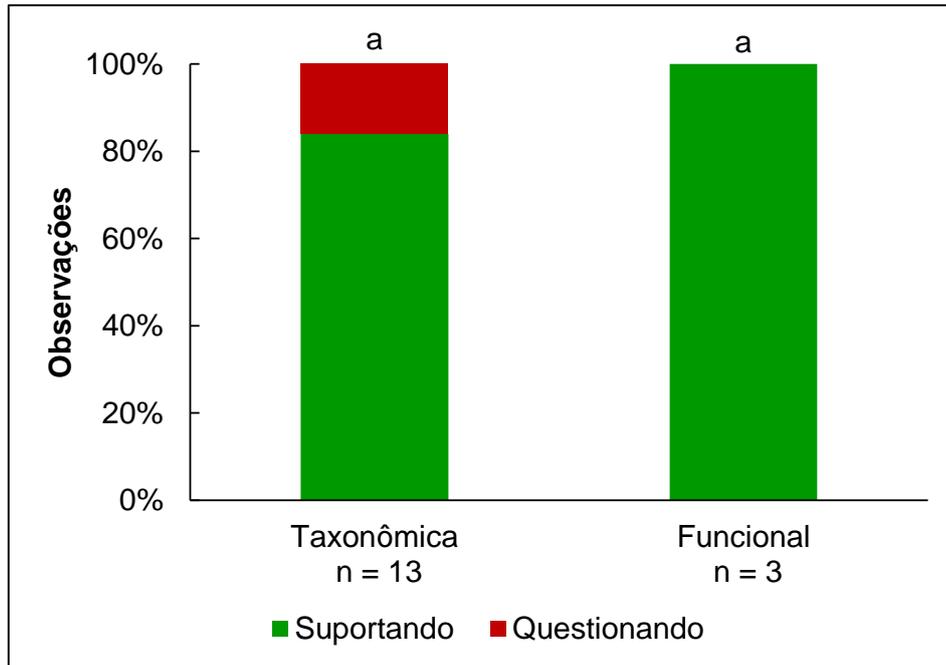


Figura 8 - Nível de suporte para a sub-hipótese formas de homogeneização baseado nas observações ponderadas. Letras sobre as barras indicam diferenças significativas (Teste U, $P < 0,05$).

Com relação à escala temporal, a maioria das observações foi referente à escala longa (56,0%, $n=9$), seguido das observações em escala de tempo curta (44,0%, $n = 7$). Não houve diferença no nível de suporte para a sub-hipótese escala temporal (Figura 10). Enquanto para a escala curta todas as observações suportaram a homogeneização, em escala longa não houve diferença estatística na quantidade de observações suportando e questionando a homogeneização (Tabela 1).

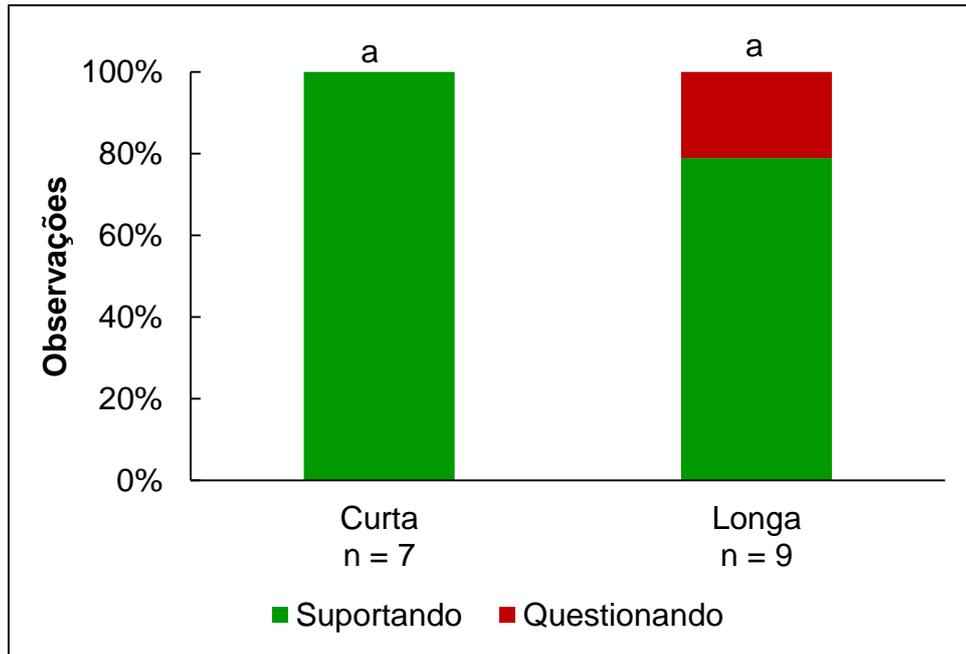


Figura 9 - Nível de suporte para a sub-hipótese escala temporal baseado nas observações ponderadas. Letras sobre as barras indicam diferenças significativas (Teste U, $P < 0,05$).

Para escala espacial, a maioria das observações correspondeu à escala pequena (81,0%, $n = 13$), seguido das observações em escala temporal grande (19,0%, $n = 3$). Não houve diferença no nível de suporte para a sub-hipótese escala espacial (Figura 10). Para a escala pequena, todas as observações suportaram a homogeneização biótica, enquanto que para a escala espacial grande, não houve diferença estatística na quantidade de observações suportando e questionando a homogeneização (Tabela 1).

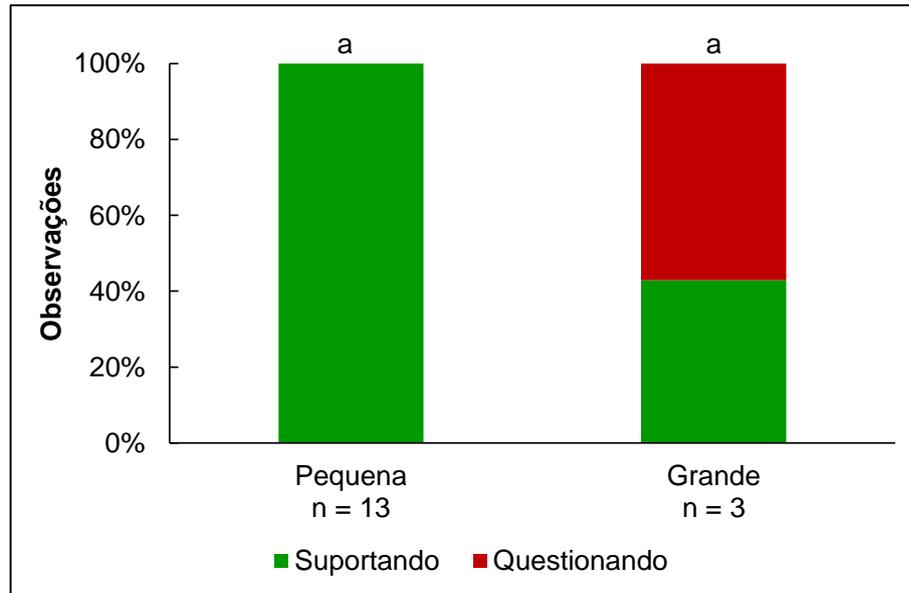


Figura 10 - Nível de suporte para a sub-hipótese escala espacial baseado nas observações ponderadas. Letras sobre as barras indicam diferenças significativas (Teste U, $P < 0,05$).

A maioria das sub-hipóteses (mais que 50%) suportou a evidência empírica das observações e apenas algumas questionaram a homogeneização biótica, como pode ser observado no esquema ilustrativo da HoH (Figura 11). No topo a formulação ampla da homogeneização biótica, foi ramificada por cada uma das classificações de sub-hipóteses propostas na metodologia. As sub-hipóteses que não tiveram observações testáveis foram excluídas da ilustração, como por exemplo, a escala espacial grande (terceiro nível de sub-hipótese) referente à escala temporal curta sobre homogeneização taxonômica.

Para a sub-hipótese homogeneização taxonômica, as duas escalas temporais (curta e longa) suportaram a homogeneização (Figura 11). No nível seguinte, ambas sub-hipóteses em escalas espaciais pequenas suportaram a homogeneização taxonômica, enquanto que na escala espacial grande a homogeneização não foi suportada (indicando diferenciação) (Figura 11).

Para a sub-hipótese de homogeneização funcional, as observações na escala temporal longa e nível de escala amostral 2, suportaram a homogeneização funcional (Figura 11).

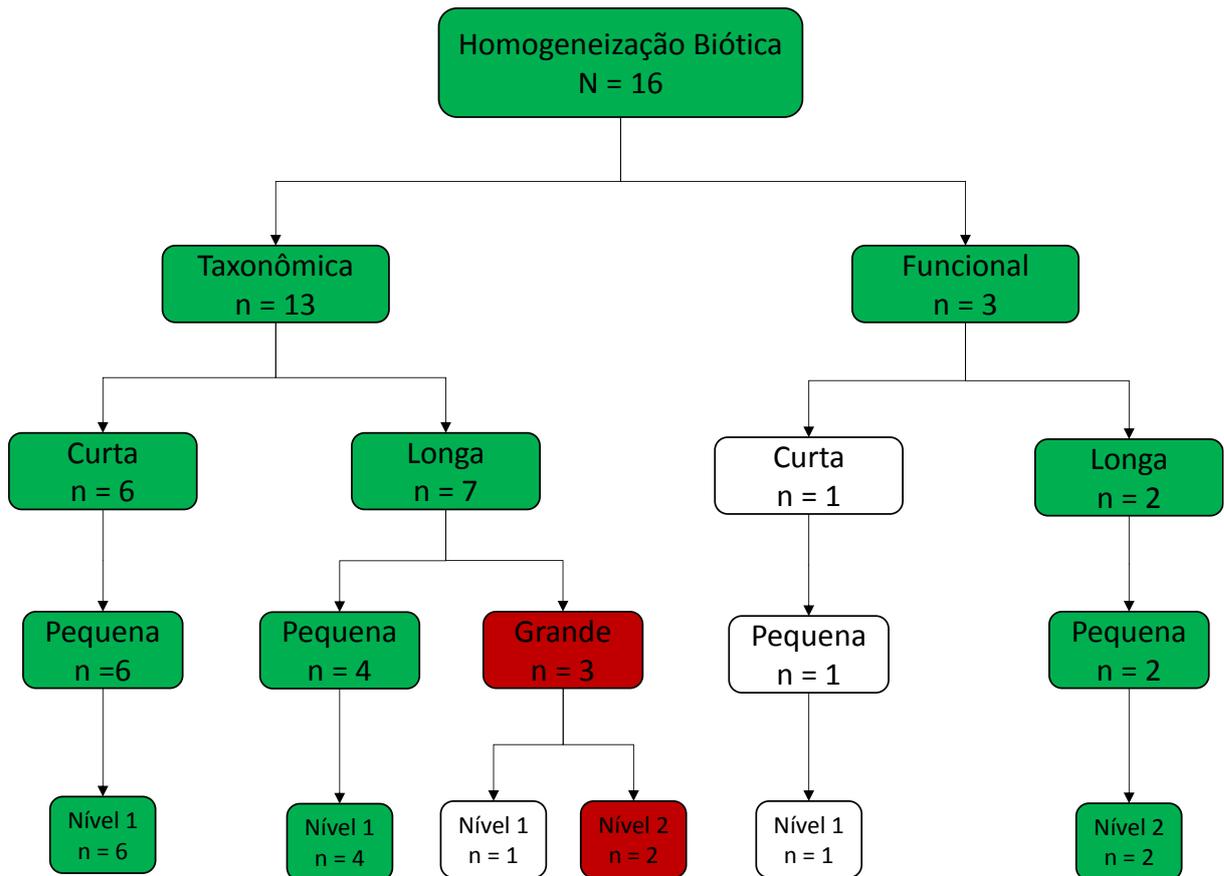


Figura 11 - Fluxograma representando a classificação das observações proposta pelo método da HoH para o processo de homogeneização biótica relacionado às modificações ambientais antropogênicas. Critérios definidos para as sub-hipóteses: 1) Formas de homogeneização biótica (Taxonômica e Funcional); 2) Escala Temporal (curta: <10 anos e longa: > 10 anos); 3) Escala Espacial (pequena: 1 – 300 km² e grande: > 300 km²); 4) Nível de escala amostral (Nível 1: análise entre amostras e Nível 2: análise dentro de uma determinada amostra já pré-analisada no nível 1).

Com relação à extensão espacial, a maioria das observações foi referente à extensão regional (69,0%, n = 11), seguido de provincial (25,0%, n = 4) e continental (6,0%, n = 1). A extensão regional mostrou um nível de suporte significativamente maior do que as observações para a extensão provincial (Figura 12). Para as extensões regional e continental todas as observações suportaram a homogeneização biótica, enquanto que para a extensão provincial não houve diferença estatística na quantidade de observações suportando e questionando a homogeneização (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados ponderado para as observações suportando e questionando a hipótese de homogeneização biótica, de acordo com a extensão espacial, grupo taxonômico e região zoogeográfica.

		n	Suportando (%)	Questionando (%)
Extensão espacial				
	Regional	11	100,0	0,0
	Provincial	4	20,0	80,0
	Continental	1	100,0	0,0
Grupo taxonômico				
	Vertebrados	7	57,0	43,0
	Plantas	6	100,0	0,0
	Invertebrados	3	100,0	0,0
Modificação ambiental antropogênica				
	Urbanização e povoamento	9	87,0	13,0
	Multi	7	80,0	20,0
Regiões zoogeográficas				
	Nearctica	5	80,0	20,0
	Paleoártica	4	100,0	0,0
	Neotropical	3	100,0	0,0
	Oriental	2	100,0	0,0
	Australiana	2	60,0	40,0

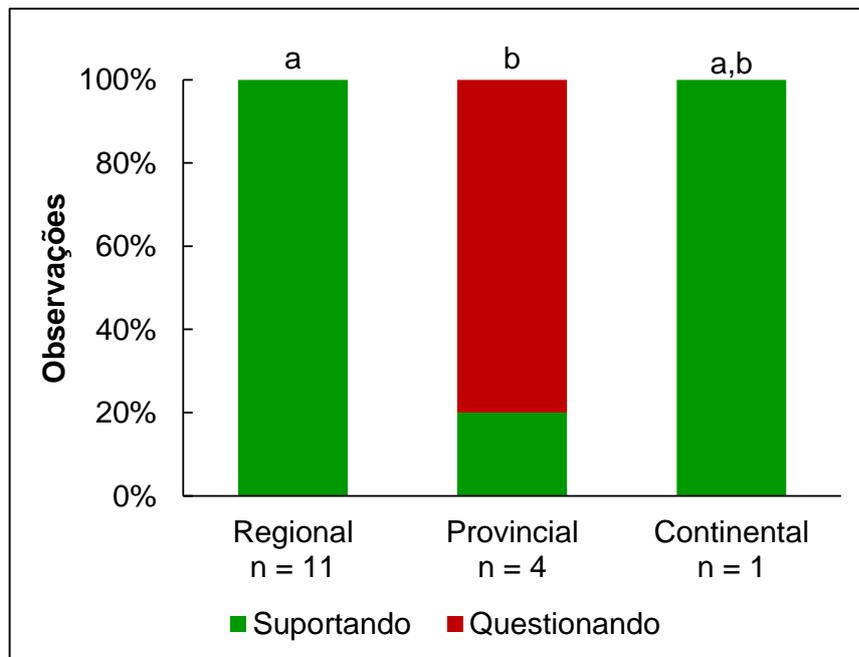


Figura 12 - Nível de suporte para a sub-hipótese extensão espacial baseado nas observações ponderadas. Letras sobre as barras indicam diferenças significativas (Teste U, $P < 0,05$).

Com relação aos grupos taxonômicos, a maioria das observações foi referente ao grupo dos vertebrados (44,0%, $n = 7$), seguido das observações para plantas (38,0%, $n = 6$) e invertebrados (18,0%, $n = 3$). Não houve diferença no nível de suporte para a sub-hipótese grupo taxonômico (Figura 13). Para o grupo dos vertebrados, não houve diferença estatística na quantidade de observações suportando e questionando a homogeneização. Enquanto que para invertebrados e plantas todas as observações suportaram a homogeneização biótica (Tabela 2).

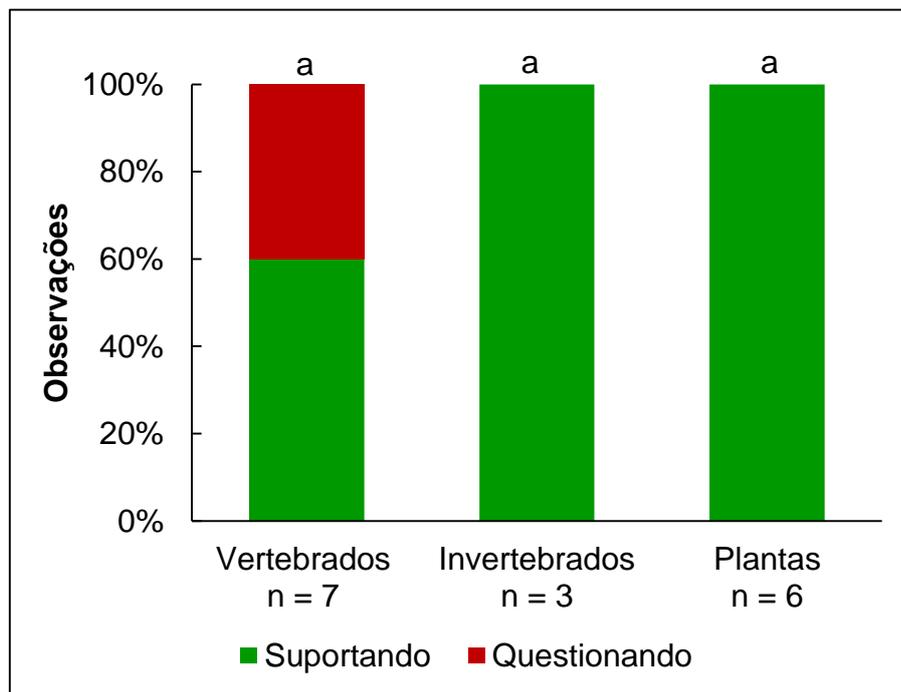


Figura 13 - Nível de suporte para a sub-hipótese grupo taxonômico baseado nas observações ponderadas. Letras sobre as barras indicam diferenças significativas (Teste U, $P < 0,05$).

As únicas modificações ambientais antropogênicas detectadas para a HoH foram urbanização e povoamento (56,3%, $n = 9$) e multi (43,7%, $n = 7$). Ambas suportaram majoritariamente a homogeneização biótica, sendo que não houve diferença para o nível de suporte (Figura 14). Apenas para urbanização e povoamento houve diferença estatística para na quantidade de observações suportando e questionando a homogeneização (Tabela 2).

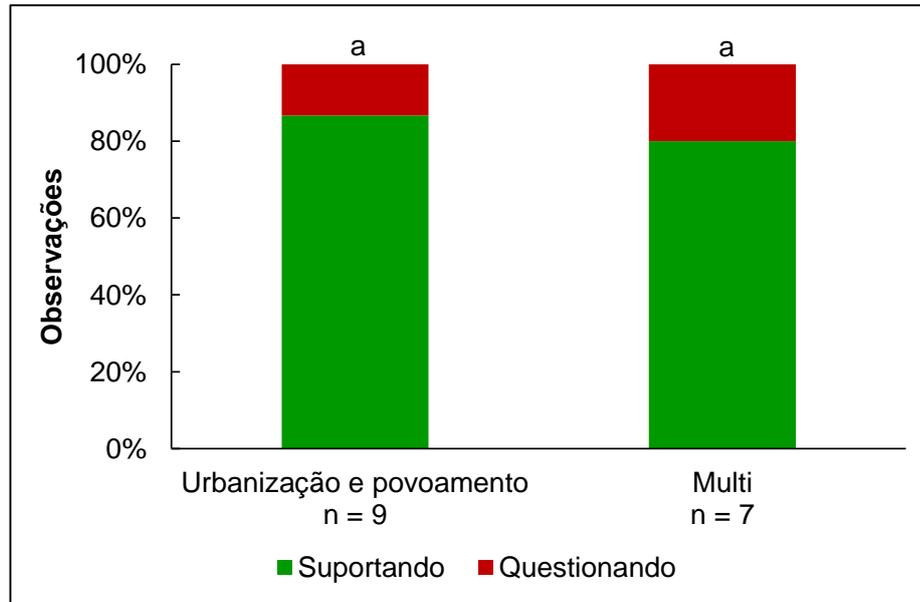


Figura 14 - Nível de suporte para a sub-hipótese modificação ambiental antropogênica baseado nas observações ponderadas. Letras sobre as barras indicam diferenças significativas (Teste U, $P < 0,05$).

Em relação às regiões zoogeográficas, a maioria das observações foi para a região Neártica (31,2%, $n = 5$), seguida pelas regiões Paleoártica (25,0%, $n = 4$), Neotropical (19,0%, $n = 9$), Australiana e Oriental (13,0%, $n = 2$, cada). Entretanto, não houve diferença no nível de suporte para a sub-hipótese região zoogeográfica (Figura 15). Para as regiões Neártica e Australiana não houve diferença estatística na quantidade de observações suportando e questionando a homogeneização (Tabela 2). As demais regiões Paleoártica, Neotropical e Oriental todas as observações suportaram a homogeneização biótica (Figura 15).

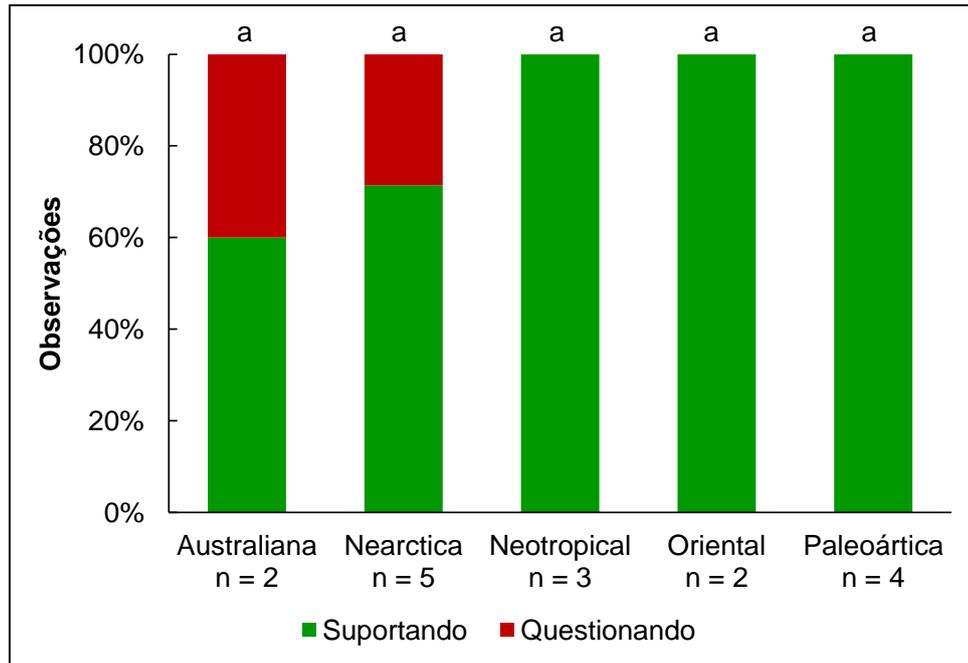


Figura 15 - Nível de suporte para a sub-hipótese reinos zoogeográficos baseado nas observações ponderadas. Letras sobre as barras indicam diferenças significativas (Teste U, P < 0,05).

4. DISCUSSÃO

O interesse em estudar a homogeneização biótica entre diferentes grupos taxonômicos, tipos de ambiente e regiões geográficas tem aumentado consideravelmente nos últimos anos (Olden et al. 2016; Petsch 2016), especialmente quando considerando a relação com os diversos tipos de modificações ambientais (Olden et al. 2008; Siqueira et al. 2015), assim como destacado pela presente revisão. Um valor elevado tanto no número absoluto quanto na variedade e tipos de modificações associadas ao processo de homogeneização biótica eram esperados desde o início da nossa pesquisa. Uma das mais prováveis explicações para este fato é o crescimento da população humana, o qual desencadeia uma série de novos tipos de alterações no meio ambiente (McKinney e Lockwood 1999) que com o tempo começaram a ganhar maior interesse. Apesar do aumento no número das publicações sobre o assunto ao longo dos anos, a presente revisão mostrou ainda algumas lacunas, referentes à padrões de ocorrência dos artigos em relação a certos aspectos, como por exemplo a ausência de artigos abordando sobre o tema para mamíferos e de artigos relacionados ao ambiente marinho.

A distribuição geográfica dos artigos encontrados pela presente pesquisa refletiu uma tendência de maior publicação nos países desenvolvidos, onde o investimento na área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) costuma ser maior, segundo o Instituto de Estatística da UNESCO. Em nossa revisão, por exemplo, para o continente americano, os estudos se concentraram nos Estados Unidos, país com maior investimento na área, de acordo com relatório do Instituto de Estatística da UNESCO de novembro de 2015 (*Global Investments in R&D*). Particularmente para os Estados Unidos, país que liderou o *ranking* de publicações em nossa revisão, este resultado pode ser relacionado também ao pioneirismo dos estudos relacionados ao tema. Para o continente asiático, o Japão país com terceiro maior investimento em P&D no mundo, segundo o mesmo relatório, também foi líder quanto ao número de publicações. Para a Europa, países como França e Finlândia registraram o maior número de artigos publicados. Dessa forma, ficou evidente a relação entre os maiores números de publicações encontradas na busca com os respectivos investimentos de cada país. Além disso, a distribuição encontrada segue a tendência global de diversos assuntos em que o maior número de artigos encontrados se concentram nas regiões paleoártica e neoártica (Lowry et al. 2013).

Todos os artigos detectados nesta revisão foram conduzidos em ambiente terrestre e de água doce. Dentre os dois tipos de ambientes, o maior número de artigos registrados foi para o ambiente terrestre, podendo este fato ser explicado principalmente pela exigência de artigos abordando modificação ambiental antropogênica relacionada ao processo de homogeneização. Para este tipo de ambiente, uma grande variedade de modificações ambientais antropogênicas foi verificada, incluindo a construção de residências e povoamentos, uso da terra para agricultura, pastoreio e sistemas agroflorestais, bem como queimadas, exploração de recursos e saneamento. Outro fator importante associado ao ambiente terrestre, é a maior facilidade para realização das pesquisas neste tipo de ambiente quando comparado aos demais ambientes, tanto em termos técnicos/logísticos como financeiramente. Para o ambiente de água doce, as intervenções do homem se restringiram aos impactos promovidos por barragens, poluição por ocupação humana e fragmentação de habitats, abordados em uma diversa literatura (Petesse e Petrere Jr. 2012; Vitule et al. 2012). Nenhum estudo foi registrado para o ambiente marinho, apesar do processo de homogeneização já ter sido detectado neste tipo de ambiente, principalmente devido às mudanças climáticas (Magurran et al. 2015).

Quanto aos grupos taxonômicos, nenhum estudo sobre mamíferos foi detectado, mesmo havendo uma série de espécies ameaçadas e em listas de extinção reconhecidas ao redor do mundo (Ceballos e Ehrlich 2002). Os poucos artigos encontrados sobre mamíferos tratavam dos impactos produzidos pelos mesmos no ambiente, geralmente relacionados à criação de animais. Porém, estes artigos não foram considerados nesta revisão, pois não avaliaram a homogeneização biótica em si.

A forma de homogeneização taxonômica recebeu a maior parte da atenção, seguida da funcional e genética. Este foi um resultado já esperado devido a maior quantidade de artigos existentes na literatura sobre homogeneização taxonômica (Olden et al. 2016). Alguns artigos ainda analisaram as formas taxonômica e funcional simultaneamente, uma tendência apresentada apenas recentemente, como Pool e Olden (2012) e Su et al. (2015). Porém, quanto à homogeneização genética, poucos artigos têm sido publicados avaliando a redução na variabilidade genética dentro de uma espécie ou entre populações de uma espécie, em dois ou mais intervalos de tempo. O mais comum é encontrar análises comparativas apenas na escala espacial (Olden et al. 2004). Na presente revisão, nenhum artigo detectou esta forma de

homogeneização utilizando escalas temporais comparativas adequadas (i.e. para o *framework* restritivo). Este fato é relacionado ao recente desenvolvimento de técnicas moleculares, permitindo sua coleta apenas após o evento de homogeneização ter ocorrido (Olden et al. 2004).

A partir da metade do período estudado, muito artigos começaram a ampliar o número de diferentes tipos de modificações ambientais antropogênicas avaliadas (i.e. nossa classificação de modificação multi). Dentro desta nossa classificação, a grande maioria dos artigos compreendeu dois tipos de modificação, sendo que a maior parte envolveu urbanização e povoamento como uma das modificações. Exploração e queimadas apareceu em segundo lugar, seguidos por agropecuária. Portanto, entre os artigos que avaliaram mais que uma modificação ambiental antropogênica, um padrão diferente com relação à frequência absoluta das modificações foi encontrado, com exceção de estudos que envolveram urbanização e povoamento, os quais continuaram com o maior número de artigos quando avaliados separadamente como um tipo de modificação.

Exploração e queimadas envolveram basicamente dois tipos de artigos. Um tipo cujo impacto do homem aconteceu através da exploração de madeira e extração de biomassa agrícola, outro tipo em que ocorreu através de queimadas para manejo de culturas. Ambos não sucederam necessariamente interligados, porém evidenciaram a homogeneização biótica, na maioria das vezes, comparando a similaridade da comunidade em locais naturais (i.e. não impactados) com locais que apresentavam os distúrbios citados. Mudanças climáticas foi a categoria mais nova de modificações ambientais antropogênicas a se relacionar com a homogeneização biótica, porém estes artigos foram classificados como *framework* abrangente, pois apenas evidenciaram o processo. Além disso, este tipo de modificação foi a que obteve os artigos classificados com as maiores extensões espaciais por não ser um tipo de alteração física no meio ambiente. Apesar de poucos estudos estarem diretamente associados à mudanças climáticas, é importante ressaltar que seus efeitos estão reorganizando a composição de comunidades aquáticas de maneira a torna-las mais similares (Magurran 2016). Portanto, possuem uma evidência importante no processo de homogeneização biótica, sendo um dos tipos de modificação mais esperado para causar impacto no futuro (Buisson e Grenouillet 2009; Buisson et al. 2013).

A fragmentação de habitats abrangeu os artigos relacionados aos impactos das barragens sobre peixes, sendo composta também por artigos sobre fragmentação de florestas devido à presença humana sobre grupos de aves ou plantas (Arroyo-Rodríguez et al. 2013). Enquanto as modificações ambientais antropogênicas relacionadas a agropecuária envolveram desde grandes sistemas agroflorestais, campos agrícolas e pastoreio de gado a campos de arroz e pequenas fazendas orgânicas. A grande maioria analisou a diferença na diversidade beta causada pela intensificação dessas atividades sobre grupos de insetos (Hendrickx et al. 2007; Ekroos et al. 2010). Esta foi a segunda categoria com maior número de artigos registrados, onde observou-se um número crescente de artigos avaliando mudanças em traços funcionais de espécies (e.g. Clavero e Brotons 2010; Abadie et al. 2011; Gámez-Virués et al. 2015). Alguns fatores como intensificação de fertilizantes, frequência de cortes e pastoreio tem sido apontados como responsáveis pela homogeneização funcional, porém diversos componentes em diferentes escalas espaciais podem causar a simplificação desses ambientes (Gámez-Virués et al. 2015).

Por fim, processos relacionados à urbanização e povoamento foram os mais constatados, possuindo talvez o maior potencial de modificação da similaridade de comunidades, condizendo com diversos artigos já publicados sobre o tema (e.g. McKinney 2005, 2006; Marchetti et al. 2006; Sol et al. 2014; Vallejos et al. 2016). Segundo McKinney et al. (2006), o favorecimento da introdução de espécies não-nativas e destruição de habitats pelo homem tem sido apontadas como uma das principais causas dessa relação, a qual deve continuar aumentando nos próximos anos.

De acordo com a HoH, na qual apenas os artigos classificados como *framework* restritivo foram considerados, a maioria das sub-hipóteses testadas suportaram a homogeneização biótica em todos os níveis. A homogeneização taxonômica obteve o maior número de observações, sendo este um padrão já encontrado em outros estudos sobre homogeneização biótica (Olden et al. 2016). Para a escala temporal, as duas sub-hipóteses referentes à esse nível tiveram um número equilibrado de observações, sendo que apenas a sub-hipótese longa teve observações questionando a homogeneização biótica. Entretanto, os resultados mostraram um viés para a predominância e alto nível de suporte da escala espacial pequena, enquanto houve uma carência para estudos na escala espacial grande

provocada pela associação a uma modificação ambiental que limita a abrangência espacial dos estudos.

No caso da escala espacial pequena, o viés encontrado pode ter sido causado pela relação com as modificações ambientais antropogênicas, as quais limitam de certa forma uma maior abrangência espacial dos estudos. Enquanto a escala espacial grande foi a única a conter observações questionando a homogeneização taxonômica. Para esta sub-hipótese, apenas duas observações questionando a hipótese de homogeneização foram registradas, as quais foram realizadas no ambiente de água doce. Em uma das observações, as amostras analisadas foram áreas de drenagem e na outra bacias hidrográficas, ambas com áreas maiores que as estipuladas para escala pequena, ou seja, maiores que 300 km². Estas duas observações que questionaram a homogeneização taxonômica fizeram comparações amostrais no Nível 2, quando os locais foram comparados dentro de uma das amostras (e.g. comparação entre locais dentro de uma bacia hidrográfica), constatando assim diferenciação biótica. Este fato está associado ao refinamento da subdivisão analítica das amostras, o que aumenta a probabilidade de detectar a introdução ou extinção de diferentes espécies, resultando na percepção da diferenciação biótica (e.g. Clavero e García-Berthou 2006).

A análise feita através da HoH para o grupo taxonômico mostrou que apenas para os vertebrados foram encontradas observações questionando a hipótese de homogeneização biótica. Este resultado segue a tendência atual, sem considerar a associação com algum tipo de modificação ambiental porém seguindo o mesmo framework de trabalho, quanto ao número de estudos reportados constatando homogeneização ou diferenciação (Olden et al. 2016). No caso, as observações mencionadas foram relacionadas à peixes, categoria com um dos maiores índices de diferenciação biótica (Olden et al. 2016), e ocorreram na extensão espacial provincial, única também a obter observações que questionaram a hipótese central.

5. CONCLUSÃO

Nos últimos anos o interesse em estudos sobre homogeneização biótica tem aumentado consideravelmente. No entanto, nossa revisão mostrou que ainda assim, a relação do processo de homogeneização com os impactos promovidos diretamente pelo homem ainda precisam ser mais aprofundados. A principal dificuldade encontrada foi o número limitado de estudos que de fato quantificam a homogeneização biótica, considerando um intervalo de tempo entre as comparações para os mesmos locais, associado ainda a algum tipo de modificação ambiental. Sendo assim, enfatizamos a importância de se produzirem mais estudos considerando que a homogeneização biótica ocorre em escalas temporais e espaciais, para que as informações empíricas destes estudos possam ser utilizadas de forma integrada em trabalhos futuros como este.

Dentre todas as ramificações da HoH, é possível notar que há um maior nível de suporte para a homogeneização taxonômica, a qual teve a maioria das observações realizadas em escalas de tempo curtas, pequenas espacialmente e cujas comparações foram realizadas entre as amostras do estudo. Isto mostra uma predisposição para estudos com os critérios previamente selecionados. Porém a HoH pode conter mais níveis de análise a partir destes, ou níveis diferentes dependendo do que se deseja buscar. No entanto, os resultados serão dependentes de alguns fatores determinantes, como as escalas espaciais e temporais analisadas. Portanto, a HoH se mostrou como uma ferramenta útil e versátil de investigação quanto ao fenômeno da homogeneização biótica.

Esperamos que este trabalho instigue futuras pesquisas a continuar explorando a fundo este tipo de interação entre homogeneização biótica associada às modificações ambientais antropogênicas, inevitável e cada vez mais provável de acontecer. Obter este conhecimento é essencial para prever quais setores do desenvolvimento humano estarão mais sujeitos a perda de biodiversidade através da homogeneização biótica e, assim, auxiliar na definição de prioridades para redução dos impactos de tais modificações sobre o meio ambiente e as espécies envolvidas.

REFERÊNCIAS

- Abadie, J., N. Machon, A. Muratet, and E. Porcher. 2011. Landscape disturbance causes small-scale functional homogenization, but limited taxonomic homogenization, in plant communities. *Journal of Ecology* 99: 1134-1142
- Arroyo-Rodríguez, V., M. Rös, F. Escobar, F. P. L. Melo, B. A. Santos, M. Tabarelli, and R. Chazdon. 2013. Plant B-diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses. *Journal of Ecology* 101: 1449-1458.
- Braga, R. R., H. Bornatowski, and J. R. S. Vitule. 2012. Feeding ecology of fishes: an overview of worldwide publications. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 22: 915-929.
- Buisson, L., and G. Grenouillet. 2009. Contrasted impacts of climate change on stream fish assemblages along an environmental gradient. *Diversity and Distributions* 15: 613-626
- Buisson, L., G. Grenouillet, S. Villéger, J. Canal, and P. Laffaille. 2013. Toward a loss of functional biodiversity in stream fish assemblages under climate change. *Global Change Biology* 19: 387-400.
- Clavero, M., and E. García-Berthou. 2006. Homogenization dynamics and introduction routes of invasive freshwater fish in the Iberian Peninsula. *Ecological Applications* 16: 2313-2324.
- Clavero, M., and L. Brotons. 2010. Functional homogenization of bird communities along habitat gradients: accounting for niche multidimensionality. *Global Ecology and Biogeography* 19 (5): 684-696.
- Clavero, M., and V. Hermoso. 2011. Reservoirs promote the taxonomic homogenization of fish communities within river basins. *Biodiversity and Conservation* 20: 41-57.
- Ceballos, G., and P. R. Ehrlich. 2002. Mammal population losses and the extinction crisis. *Science* 296: 904-907.
- Daga, V. S., F. Skóra, A. A. Padial, V. Abilhoa, E. A. Gubiani, and J. R. S. Vitule. 2015. Homogenization dynamics of the fish assemblages in Neotropical reservoirs: comparing the roles of introduced species and their vectors. *Hydrobiologia* 746: 327-347.
- Ekroos, J., J. Heliölä, and M. Kuussari. 2010. Homogenization of lepidopteran communities in intensively cultivated agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*. 47: 459-467.
- Elton, C. S. 1958. *The ecology of invasion by animals and plants*. London: Methuen. 181 p.

- Gámez-Virués, S., D. J. Perovic, M. M. Gossener, C. Börschig, N. Blüthgen, H. Jong, N. K. Simons, A. Klein, et al. 2015. *Nature Communications* 6: 8568. doi: 10.1038/ncomms9568.
- Heger, T., and J. M. Jeschke. 2014. The enemy release hypothesis as a hierarchy of hypotheses. *Oikos* 123: 741-750.
- Hendrickx, F., J. Maelfait, W. Van Wingerden, O. Schweiger, M. Speelmans, S. Aviron, I. Augenstein, R. Billeter, et al. 2007. How landscape structure, land-use intensity and habitat affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*. 44: 340-351.
- Jeschke, J. M., L. G. Aparicio, S. Haider, T. Heger, C. J. Lortie, P. Pyšek, and D. L. Strayer. 2012. Support for major hypotheses in invasion biology is uneven and declining. *Neobiota* 14: 1-20. 2012.
- Kreft, H., and W. Jetz. 2010. A framework for delineating biogeographical regions based on species distributions. *Journal of Biogeography* 37: 2029-2053.
- Littell, J. H., J. Corcoran, and V. K. Pillai. 2008. Systematic reviews and meta-analysis. New York: Oxford University Press. 288. 202 p.
- Lockwood, J. L., M. F. Hoopes, and M. P. Marchetti. 2007. *Invasion Ecology*. Blackwell Scientific Press, United Kingdom. 313 p.
- Lowry, E., E. J. Rollinson, A. J. Laybourn, T. E. Scott, M. E. Aiello-Lammens, S. M. Gray, J. Mickley, and J. Gurevitch. 2013. Biological invasions: a field synopsis, systematic review, and database of the literature. *Ecology and Evolution* 3(1): 182-196.
- Magurran, A. E. 2016. How ecosystem changes. *Science* 351 (6272): 448-449
- Magurran, A. E., M. Dornelas, F. Moyes, N. J. Gotelli, and B. McGill. 2015. Rapid biotic homogenization of marine fish assemblages. *Nature Communications* 6: 8405.
- Marchetti, M. P., J. L. Lockwood, and T. Light. 2006. Effects of urbanization on California's fish diversity: Differentiation, homogenization and the influence of spatial scale. *Biological Conservation* 127: 2130-2318.
- McKinney, M. L. 2004. Do exotics homogenize or differentiate communities? Roles of sampling and exotic species richness. *Biological Invasions* 6: 495-504.
- McKinney, M. L. 2005. New Pangea: Homogenizing the Future Biosphere. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 56(11): 119-129.
- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* 127: 247-260.

- McKinney, M. L., and J. L. Lockwood. 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 450-453.
- McKinney, M. L., and J. L. Lockwood. 2001. Biotic Homogenization: a sequential and selective process. In *Biotic homogenization*, ed. McKinney, M. L., and J. L. Lockwood, 1-17. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Olden, J. D. 2006. Biotic homogenization: a new research agenda for conservation biogeography. *Journal of Biogeography* 33: 2027-2039.
- Olden, J. D., and N. L. Poff. 2003. Toward a mechanistic understanding and prediction of biotic homogenization. *The American Naturalist* 162: 442-460.
- Olden, J. D., and N. L. Poff. 2004. Ecological processes driving biotic homogenization: testing a mechanistic model using fish faunas. *Ecology* 85: 1867-1875.
- Olden, J. D., and T. P. Rooney. 2006. On defining and quantifying biotic homogenization. *Global Ecology and Biogeography* 15:113-120.
- Olden, J. D., N. L. Poff, M. R. Douglas, M. E. Douglas, and K. D. Fausch. 2004. Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization. *Trends in Ecology and Evolution* 19 (1): 18-24.
- Olden, J. D., M. J. Kennard, and B. J. Pusey. 2008. Species invasions and the changing biogeography of Australian freshwater fishes. *Global Ecology and Biogeography* 17: 25-37.
- Olden, J. D., L. Comte, and X. Giam. 2016. Biotic Homogenisation. *Encyclopedia of Life Sciences, John Wiley & Sons Ltd* doi: 10.1002/9780470015902.a0020471.pub2
- Pettesse, M. L., and Jr. M. Petrere. 2012. Tendency towards homogenization in fish assemblages in the cascade reservoir system of the Tietê river basin, Brazil. *Ecological Engineering* 48: 109-116.
- Petsch, D. K. 2016. Causes and consequences of biotic homogenization in freshwater ecosystems. *International Review of Hydrobiol* 101: 113-122.
- Pool, T. K., and J. D. Olden. 2012. Taxonomic and functional homogenization of an endemic desert fish fauna. *Diversity and Distributions* 18: 366-376.
- Rahel, F. J. 2000. Homogenization of fish faunas across the United States. *Science* 288: 854-856.
- Rahel, F. J. 2002. Homogenization of freshwater faunas. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33: 291-315.
- Rahel, F. J. 2007. Biogeographic barriers, connectivity and homogenization of freshwater faunas: it's a small world after all. *Freshwater Biology* 52: 696-710.

- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F. S. Chapin, III, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, et al. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475.
- Siqueira, T., C. G. T. Lacerda, and V. S. Saito. 2015. How does landscape modification induce biological homogenization in tropical stream metacommunities? *Biotropica*. (0):1-82015.
- Scott, M. C. 2006. Winners and losers among stream fishes in relation to land use legacies and urban development in the southeastern US. *Biological Conservation* 127: 301-309.
- Sol, D., C. González-Lagos, D. Moreira, J. Maspons, and O. Lapiedra. 2014. Urbanization tolerance and the loss of avian diversity. *Ecology Letters* 17: 942-950.
- Solar, R. R. C., J. Barlow, J. Ferreira, E. Berenguer, A. C. Less, J. R. Thomson, J. Louzada, M. Maués, et al. 2015. How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes? *Ecology Letters* 18: 1108-1118.
- Su, G., J. Xu, M. Akasaka, J. G. Molinos, and S. S. Matsuzaki. 2015. Human impacts on functional and taxonomic homogenization of plateau fish assemblages in Yunnan, China. *Global Ecology and Conservation* 4: 470-478.
- Taylor, E. B. 2004. An analysis of homogenization and differentiation of Canadian freshwater fish faunas with an emphasis on British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61: 68-79.
- Uman, L. S. 2011. Systematic reviews and meta-analyses. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 20 (1): 57-69.
- Vallejos, M. A. V., A. A. Padial, and J. R. S. Vitule. 2016. Human-induced landscape changes homogenize atlantic forest bird assemblages through nested species loss. *Ploss One* 11(2): e0147058.
- Vitule, J. R. S., and L. P. Pozenato. 2012. Homogeneização biótica: misturando organismos em um mundo pequeno e globalizado. *Estudos de Biologia, Ambiente e Diversidade*. 34(83): 239-245.
- Vitule, J. R. S., F. Skóra, and V. Abilhoa. 2012. Homogenization of freshwater fish faunas after the elimination of a natural barrier by a dam in Neotropics. *Diversity and Distributions* 18: 111-120.
- Wallace, A. R. 1876. *The geographic Distribution of animals*. New York: Harper & Brothers Publishers. 503 pp.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – REVISÃO SISTEMATIZADA E CIENTOMETRIA.....	55
APÊNDICE 2 – TABELAS COM A CONTAGEM SIMPLES DOS DADOS (NÃO PONDERADOS) PARA AS OBSERVAÇÕES SUPORTANDO E QUESTIONANDO A HIPÓTESE DE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA.....	62

APÊNDICE 1 – REVISÃO SISTEMATIZADA E CIENTOMETRIA

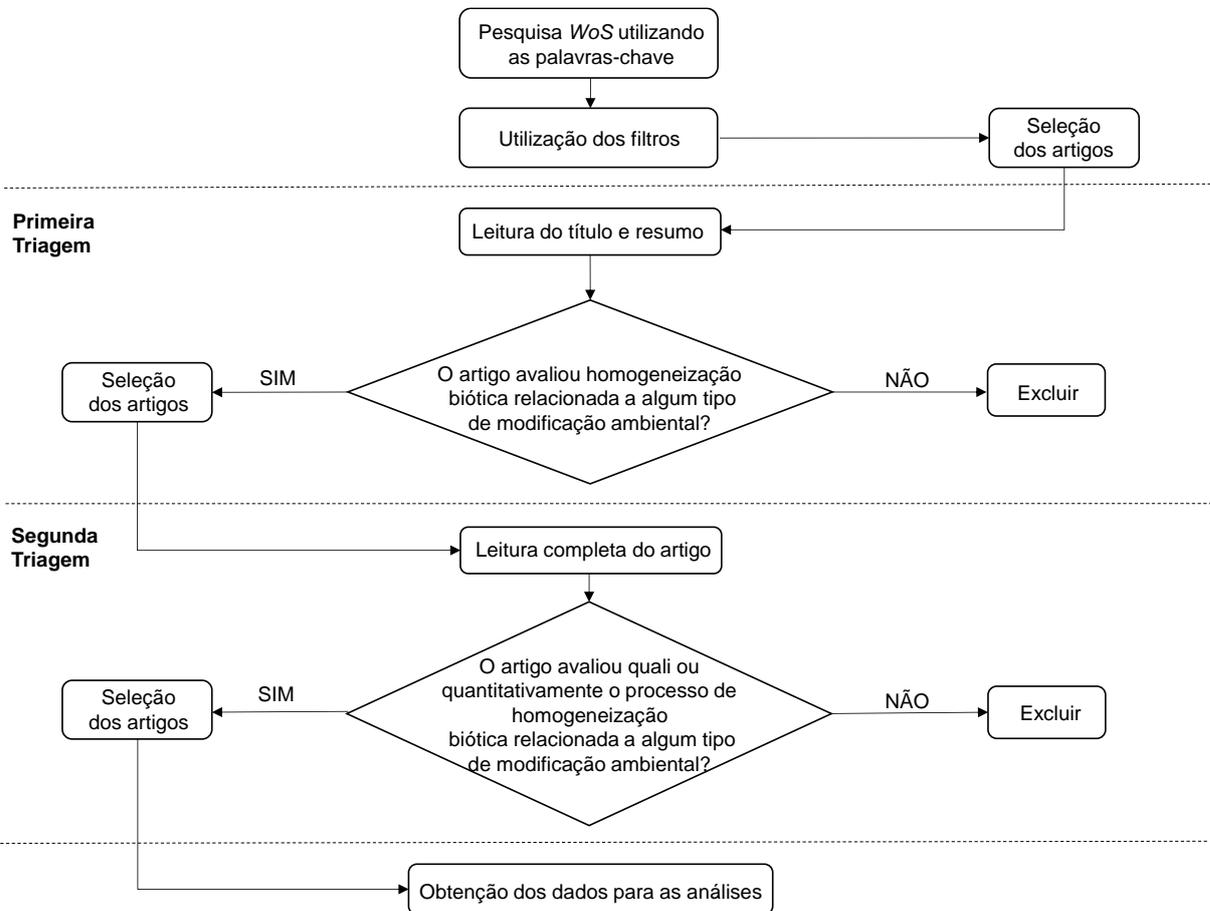


Figura S1 - Fluxograma representando as etapas da revisão sistemática e critérios para seleção dos artigos durante a primeira e segunda triagem.

Tabela S1 - Lista de artigos selecionados na revisão sistematizada

Autor	Ano	Título	Framework
J. Colville , M.D. Picker and R.M. Cowling	2000	Species turnover of monkey beetles (Scarabaeidae: Hopliini) along environmental and disturbance gradients in the Namaqualand region of the succulent Karoo, South Africa	Abrangente
Jukka Jokimäki and Marja-Liisa Kaisanlahti-Jokimäki	2003	Spatial similarity of urban bird communities: a multiscale approach	Abrangente
Torben Meldgaard, Einar E. Nielsen, Volker Loeschcke	2003	Fragmentation by weirs in a riverine system: A study of genetic variation in time and space among populations of European grayling (<i>Thymallus thymallus</i>) in a Danish river system	Abrangente
S. Yamamoto ¹ , K. Morita, I. Koizumi, K. Maekawa	2004	Genetic differentiation of white-spotted charr (<i>Salvelinus leucomaenis</i>) populations after habitat fragmentation: Spatial-temporal changes in gene frequencies	Abrangente
Mark W. Schwartz, James H. Thorne, Joshua H. Viers	2005	Biotic homogenization of the California flora in urban and urbanizing regions	Abrangente
Julian D. Olden, N. LeRoy Poff, Michael L. McKinney	2006	Forecasting faunal and floral homogenization associated with human population geography in North America	Abrangente
Mark C. Scott	2006	Winners and losers among stream fishes in relation to land use legacies and urban development in the southeastern US	Abrangente
Michael P. Marchettia, Julie L. Lockwoodb, Theo Lightc	2006	Effects of urbanization on California's fish diversity: Differentiation, homogenization and the influence of spatial scale	Restritivo
Jason M. Tylianakis, Alexandra-Maria Klein, Tannya Lozada, Teja Tschardtke	2006	Spatial scale of observation affects a, b and c diversity of cavity-nesting bees and wasps across a tropical land-use gradient	Abrangente
Lisa A. Schult, David J. Mladenoff, Thomas R. Crow, Laura C. Merrick, David T. Cleland	2006	Homogenization of northern U.S. Great Lakes forests due to land use	Abrangente

Chris A.M. Van Turnhouta, Ruud P.B. Foppena, Rob S.E.W. Leuvenb, Henk Siepelc, Hans Esselinkc	2007	Scale-dependent homogenization: Changes in breeding bird diversity in the Netherlands over a 25-year period	Abrangente
Maelfait, Walter Van Wingerden, Oliver Schweiger, Marjan Speelmans, Stéphanie Aviron, Isabel Augenstein, Regula Billeter, Debra Bailey, Roman Bukacek, Françoise Burel, Tim Diekötter, Jolanda Dirksen, Felix Herzog, Jaan Iiira, Martina Roubalova, Viki Vandomme, Rob Bugter	2007	How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes	Abrangente
Robert B. Blair, Elizabeth M. Johnson	2008	Suburban habitats and their role for birds in the urban–rural habitat network: points of local invasion and extinction?	Restritivo
Julian D. Olden, Mark J. Kennard and Bradley J. Pusey	2008	Species invasions and the changing biogeography of Australian freshwater fishes	Restritivo
Thomas B. Smith, Borja Milá, Gregory F. Grether, Hans Slabbekoorn, Irem Sepil, Wolfgang Buermann, Sassan Saatchi, John P. Pollinger	2008	Evolutionary consequences of human disturbance in a rainforest bird species from Central Africa	Abrangente
Miguel Clavero, Lluís Brotons, Pere Pons, Daniel Sol	2009	Prominent role of invasive species in avian biodiversity loss	Abrangente
Bea Maas, Dadang Dwi Putra, Matthias Waltert, Yann Clough, Teja Tschardtke, Christian H. Schulze	2009	Six years of habitat modification in a tropical rainforest margin of Indonesia do not affect bird diversity but endemic forest species	Restritivo
Carolina Quintero, Carolina Laura Morales, Marcelo Adria'n Aizen	2009	Effects of anthropogenic habitat disturbance on local pollinator diversity and species turnover across a precipitation gradient	Restritivo

Andrea J. Britton, Colin M. Beale, Willie Towers, Richard L. Hewison	2009	Biodiversity gains and losses: Evidence for homogenisation of Scottish alpine vegetation	Abrangente
Johan Ekroos, Janne Heliölä, Mikko Kuussaari	2010	Homogenization of lepidopteran communities in intensively cultivated agricultural landscapes	Abrangente
Patrick Hoehn, Ingolf Steffan-Dewenter, Teja Tschamntke	2010	Relative contribution of agroforestry, rainforest and openland to local and regional bee diversity	Abrangente
Eleanor M. Slade, Darren J. Mann c, Owen T. Lewis	2010	Biodiversity and ecosystem function of tropical forest dung beetles under contrasting logging regimes	Abrangente
Jean-Claude Abadie, Nathalie Machon, Audrey Muratet, Emmanuelle Porcher	2011	Landscape disturbance causes small-scale functional homogenization, but limited taxonomic homogenization, in plant communities	Abrangente
Teresa KeBler, Arne Cierjacks, Raffael Ernst, Frank Dziock	2011	Direct and indirect effects of ski run management on alpine Orthoptera	Abrangente
Lisa Mandle, Tamara Ticktin	2012	Moderate land use shifts plant diversity from overstory to understory and contributes to biotic homogenization in a seasonally dry tropical ecosystem	Abrangente
Sébastien Bonthoux, Jean-Yves Barnagaud, Michel Goulard, Gérard Balent	2012	Contrasting spatial and temporal responses of bird communities to landscape changes	Abrangente
Brice B. Hanberry, Brian J. Palik, Hong S. He	2012	Comparison of historical and current forest surveys for detection of homogenization and mesophication of Minnesota forests	Abrangente
Karel Mokany, Thomas D. Harwood, Kristen J. Williams and Simon Ferrier Csiro	2012	Dynamic macroecology and the future for biodiversity	Abrangente
Shigeru Kitanishi, Toshiaki Yamamoto, Kaneaki Edo, Seigo Higashi	2012	Influences of habitat fragmentation by damming on the genetic structure of masu salmon populations in Hokkaido, Japan	Abrangente

Elaine McGoff, Angelo G. Solimini, Martin T. Pusch, Tamara Jurca, Leonard Sandin	2013	Does lake habitat alteration and land-use pressure homogenize European littoral macroinvertebrate communities?	Abrangente
James D. M. Speed, Gunnar Austrheim, Atle Mysterud	2013	The response of plant diversity to grazing varies along an elevational gradient	Abrangente
Víctor Arroyo-Rodríguez, Matthias Rös, Federico Escobar, Felipe P. L. Melo, Braulio A. Santos, Marcelo Tabarelli, Robin Chazdon	2013	Plant b-diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses	Abrangente
Jenny L. McCune, Mark Vellend	2013	Gains in native species promote biotic homogenization over four decades in a human-dominated landscape	Restritivo
Joanna T. Staley, James M. Bullock, Katherine C.R. Baldock, John W. Redhead, Danny A.P. Hooftman, Nick Button, Richard F. Pywell	2013	Changes in hedgerow floral diversity over 70 years in an English rural landscape, and the impacts of management	Restritivo
Vanesca Korasaki, Rodrigo F. Braga, Ronald Zanetti, Fatima M. S. Moreira, Fernando Z. Vaz-de-Mello, Julio Louzada	2013	Conservation value of alternative land-use systems for dung beetles in Amazon: valuing traditional farming practices	Abrangente
Xavier Santos, Marc Cheylan	2013	Taxonomic and functional response of a Mediterranean reptile assemblage to a repeated fire regime	Abrangente
Joan E. Ball-Damerow, Leithen K. M'Gonigle, Vincent H. Resh	2014	Changes in occurrence, richness, and biological traits of dragonflies and damselflies (Odonata) in California and Nevada over the past century	Abrangente
Walter Santos de Araújo, Teja Tschardtke, Mário Almeida-Neto	2014	Global effects of land use intensity on the impoverishment of insect herbivore assemblages	Abrangente

Akira S. Mori, Aino T. Ota, Saori Fujii, Tatsuyuki Seino, Daisuke Kabeya, Toru Okamoto, Masamichi T. Ito, Nobuhiro Kaneko, Motohiro Hasegawa	2015	Concordance and discordance between taxonomic and functional homogenization: responses of soil mite assemblages to forest conversion	Abrangente
Emilia Carrara a, Víctor Arroyo-Rodríguez, Jorge H. Vega-Rivera, Jorge E. Schondube, Sandra M. de Freitas, Lenore Fahrig	2015	Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico	Abrangente
Jessica R. K. Forrest, Robbin W. Thorp, Claire Kremen, Neal M. Williams	2015	Contrasting patterns in species and functional-trait diversity of bees in an agricultural landscape	Abrangente
Nicole Sweaney, Don A. Driscoll, D.B. Lindenmayer, Nicholas Porch	2015	Plantations, not farmlands, cause biotic homogenisation of ground-active beetles in south-eastern Australia	Abrangente
Kei Uchida, Atushi Ushimaru	2015	Land abandonment and intensification diminish spatial and temporal b-diversity of grassland plants and herbivorous insects within paddy terraces	Abrangente
Jonathan A. Myers, Jonathan M. Chase, Raelene M. Crandall, Ivan Jimenez	2015	Disturbance alters beta-diversity but not the relative importance of community assembly mechanisms	Abrangente
Pierree Gaüzèr E, Frédéric Jiguet, Vincent Devictor	2015	Rapid adjustment of bird community compositions to local climatic variations and its functional consequences	Abrangente
Jussi Jyväsjärvi, Hannu Marttila, Pekka M. Rossi, Pertti Ala-Aho, Bo Olofsson, Jakob Nisell, Birgitta Backman, Jari Ilmonen, Risto Virtanen, Lauri Paasivirta, Ritva Britschgi, Bjørn Kløve, Timo Muotka	2015	Climate-induced warming imposes a threat to north European spring ecosystems	Abrangente

Nicolas Deguines, Romain Julliard, Mathieu de Flores, Colin Fontaine	2016	Functional homogenization of flower visitor communities with urbanization	Abrangente
Marie-Pierre Beauvais, Stéphanie Pellerin, Claude Lavoie	2016	Beta diversity declines while native plant species richness triples over 35 years in a suburban protected area	Restritivo
Raimo Virkkala	2016	Long-term decline of southern boreal forest birds: consequence of habitat alteration or climate change?	Abrangente

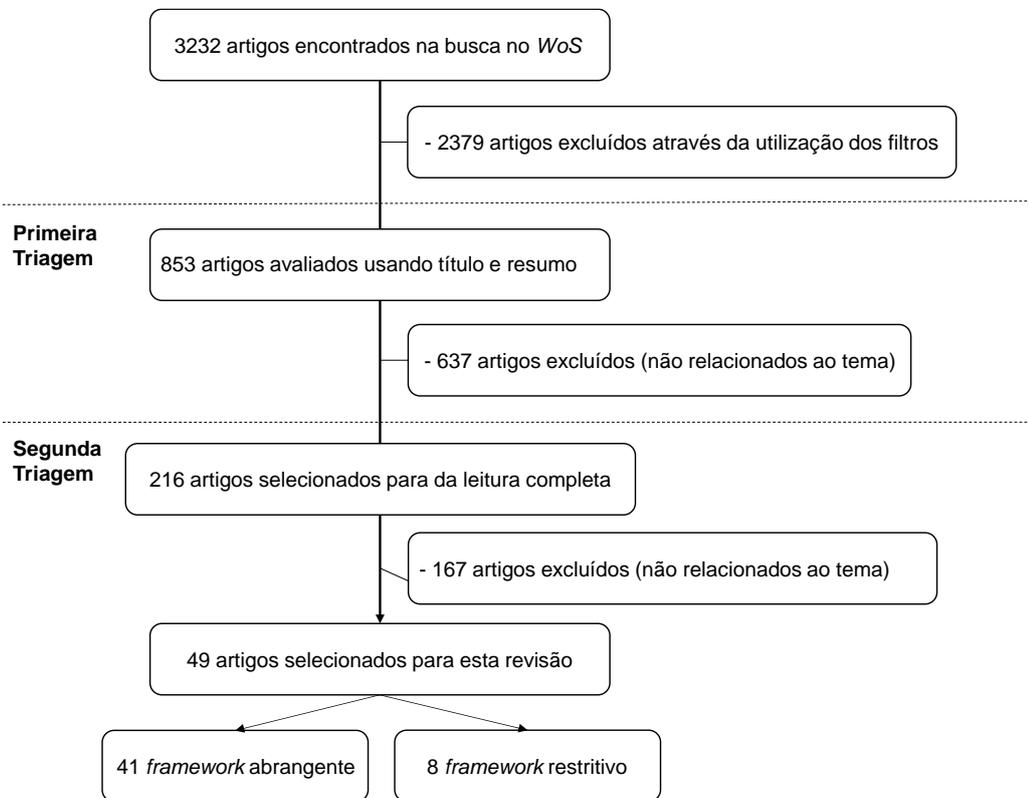


Figura S2 - Fluxograma detalhando o processo de seleção e exclusão dos artigos de acordo com as etapas da revisão sistematizada.

APÊNDICE 2 – TABELAS COM A CONTAGEM SIMPLES DOS DADOS (NÃO PONDERADOS) PARA AS OBSERVAÇÕES SUPORTANDO E QUESTIONANDO A HIPÓTESE DE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA

Tabela S2 – Contagem simples (dados não ponderados) para as observações suportando e questionando a hipótese de homogeneização biótica, para cada nível de sub-hipótese.

		n	Suportando (%)	Questionando (%)
Total		16	87,5	12,5
Taxonômica		13	84,6	15,4
Funcional		3	100,0	
<i>Escala temporal</i>				
	Longa	9	78,9	21,1
	Curta	7	100,0	
<i>Escala espacial</i>				
	Pequena	13	100,0	
	Grande	3	42,9	57,1
<i>Nível de escala amostral</i>				
	Nível 1	14	100,0	
	Nível 2	2		100,0

Tabela S3 – Contagem simples (dados não ponderados) para as observações suportando e questionando a hipótese de homogeneização biótica, para cada nível de sub-hipótese.

		n	Suportando (%)	Questionando (%)
<i>Extensão espacial</i>				
	Regional	11	100,0	0,0
	Provincial	4	50,0	50,0
	Continental	1	100,0	0,0
<i>Grupo taxonômico</i>				
	Vertebrados	7	71,4	28,6
	Plantas	6	100,0	0,0
	Invertebrados	3	100,0	0,0
<i>Modificação ambiental antropogênica</i>				
	Urbanização e povoamento	9	88,9	11,1
	Multi	7	85,7	14,3
<i>Regiões zoogeográficas</i>				
	Nearctica	5	80,0	20,0
	Paleoártica	4	100,0	0,0
	Neotropical	3	100,0	0,0
	Oriental	2	100,0	0,0
	Australiana	2	50,0	50,0