



HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA EM COMUNIDADES ARBÓREAS DAS FLORESTAS TROPICAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

ARTIGO DE REVISÃO

SANTOS, Patrícia Marques¹, NASCIMENTO, Marcelo Trindade²

SANTOS, Patrícia Marques. NASCIMENTO, Marcelo Trindade. **Homogeneização biótica em comunidades arbóreas das florestas tropicais: uma revisão sistemática**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 08, Ed. 08, Vol. 04, pp. 50-77. Agosto de 2023. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/biologia/homogeneizacao-biotica>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/biologia/homogeneizacao-biotica

RESUMO

Uma revisão sistemática de literatura foi realizada sobre a homogeneização biótica em florestas tropicais e suas consequências para a diversidade das comunidades arbóreas. Avaliamos artigos indexados nas bases *Scopus*® e *Web of Science*®, de 1945 a 2022. A seleção das publicações foi realizada na plataforma Rayyan. O método bibliométrico utilizado para o mapeamento do banco de dados foi a análise de co-palavras, no software VOSviewer. Distinguimos três linhas de pesquisas em homogeneização biótica: ecologia da invasão de espécies; fatores ambientais e antropogênicos; e a diversidade funcional e filogenética. O componente mais estudado e talvez o mais afetado, foi o componente taxonômico. Os eventos de homogeneização biótica estão amplamente distribuídos pela região tropical, sendo o tipo florestal mais afetado a floresta tropical pluvial e a principal causa apontada foi a mudança de uso do solo, relacionada à degradação antrópica. Os estudos de homogeneização biótica nos trópicos têm se intensificado na última década e resultado em importantes avanços para o entendimento deste processo, como a constatação de que ambientes hiperdiversos são suscetíveis de ocorrência de homogeneização biótica e que ela pode ser mediada por espécies nativas generalistas. Observamos o surgimento de mais um componente da diversidade a ser incluído no conceito da homogeneização, a homogeneização das interações ecológicas.

Palavras-chave: Bibliometria, Conservação, Fragmentação, Florestas tropicais, Homogeneização biótica.



1. INTRODUÇÃO

O aumento da similaridade entre as comunidades biológicas é a principal característica da homogeneização biótica (homogeneização biológica). Este processo, descrito por Elton (1958), demonstra sua preocupação com a disseminação de espécies exóticas. A definição do termo homogeneização biótica veio posteriormente com o trabalho de Mckinney e Lockwood (1999), no qual os autores destacam dois fatores fundamentais para esse processo, a mudança de uso da terra e a introdução de espécies exóticas. Estes autores ao proporem essa definição, trataram principalmente da homogeneização taxonômica, conceito que vem evoluindo desde então. Rahel (2000) adicionou o fator tempo ao conceito, o definindo como a mudança da similaridade entre comunidades ao longo do tempo. Olden e Poff (2004), incluíram o caráter multidimensional na avaliação do processo, incorporando os componentes funcional e genético. Atualmente, a homogeneização biótica é definida como a alteração em biotas anteriormente distintas, que se tornaram mais similares ao longo do tempo em diferentes níveis de organização, e.g. genéticas, taxonômicas e funcionais (OLDEN; ROONEY, 2006).

A intensificação das atividades humanas em geral e em alguns casos, atingindo áreas remotas e antes não perturbadas, vem facilitando a invasão de espécies exóticas em áreas anteriormente inacessíveis, rompendo barreiras biogeográficas naturais e desta forma favorecendo a homogeneização biótica (CHARLES S. ELTON, 1958; KOLAR; LODGE, 2001; KRAMER; ZWIENER; MÜLLER, 2022).

Todas as principais causas da perda de biodiversidade no planeta estão de alguma forma atreladas às ações antrópicas (e.g. desmatamento, perda de habitats, fragmentação, poluição de corpos hídricos, caça, introdução de espécies exóticas, mudanças climáticas) e seus efeitos secundários (DÍAZ *et al.*, 2019; ESTES *et al.*, 2011; FINLAYSON *et al.*, 2005; LEWIS; EDWARDS; GALBRAITH, 2015; LOBO *et al.*, 2011; MAXWELL *et al.*, 2016; PENN; DEUTSCH, 2022). A interação de diferentes ações antrópicas pode intensificar seus efeitos sobre a perda de



biodiversidade levando à homogeneização biótica áreas anteriormente muito diversas, como é o caso dos *hotspot* de biodiversidade do mundo (SILVA; TABARELLI, 2000; ZWIENER, 2018) e das florestas tropicais (DIRZO, 2001; PAIN *et al.*, 2021).

O aumento exponencial no número de publicações trouxe grandes dificuldades para os estudos de revisão, a aplicação de métodos de revisão sistemática e bibliométricos, permite lidar com essa riqueza de dados, filtrar as obras importantes por meio da estimativa de seu impacto e descobrir padrões subjacentes de um campo do conhecimento (ZUPIC; ČATER, 2015). Desta forma, o objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão sistemática de literatura sobre a homogeneização biótica e suas consequências na diversidade das comunidades arbóreas tropicais, destacando as principais lacunas de conhecimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Realizamos uma revisão de literatura sistemática com base em Moher *et al.* (2009). Avaliamos artigos científicos indexados que abordam aspectos relacionados à homogeneização biótica em florestas tropicais. A busca por publicações foi realizada sem recorte temporal e delimitação de idiomas, visando obter todas as publicações disponíveis nas bases (1945 a 2022). Com base nessa premissa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em duas das principais bases de dados acadêmicas: *Scopus*® e *Web of Science*®.

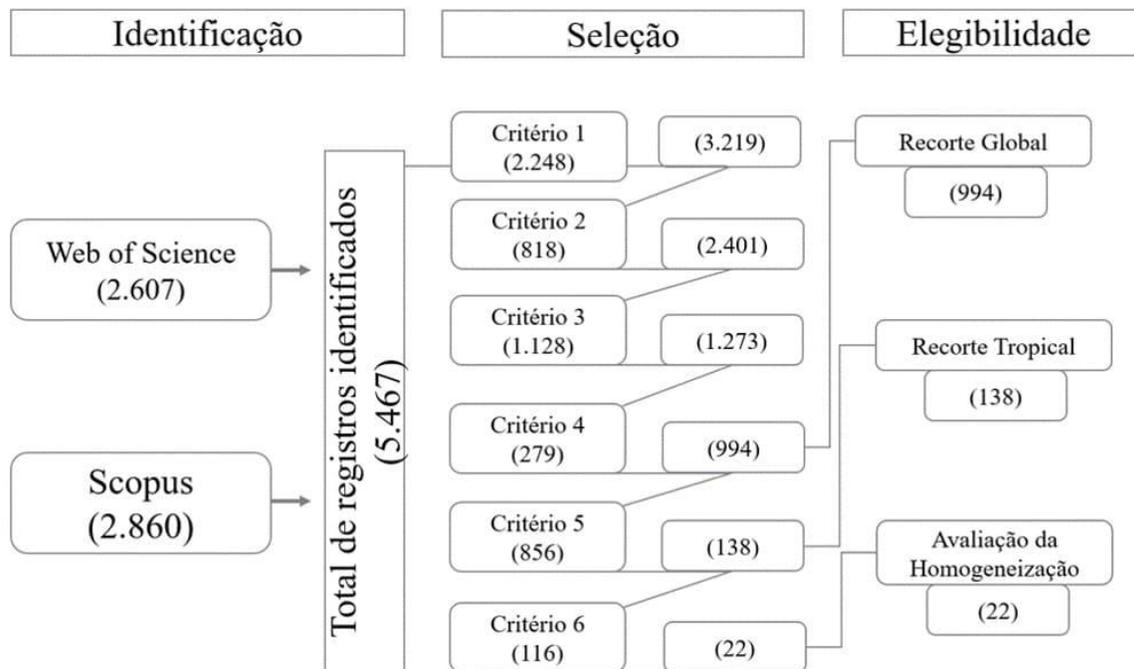
Para a realização da busca dos artigos foram considerados os seguintes termos relacionados ao tema: “*homogenization*” OR “*tree homogenization*” OR “*plant homogenization*” OR “*biotic homogenization*” AND “*plant*”; que estivessem presentes no título, resumo ou palavras-chave dos artigos. Os termos utilizados



nesta busca foram selecionados a partir de artigos de referência da área e as buscas foram realizadas até junho de 2022.

Selecionamos documentos mediante critérios de triagem adaptados de Moher et al. (2009) e O’Dea et al. (2021), conforme a Figura 1. Como primeiro critério, elegemos somente aqueles documentos das áreas do conhecimento correlacionadas às ciências ambientais e da terra, no segundo excluímos artigos duplicados nos bancos de dados, considerando apenas um documento. Como terceiro critério, consideramos apenas os artigos que tratassem da homogeneização biótica como tema central. O quarto critério, considerou apenas os artigos que tivessem as espécies arbóreas como objeto de estudo. No quinto critério selecionamos somente os artigos que fossem da região tropical e no sexto e último critério, selecionamos somente os artigos que testaram o processo de homogeneização biótica conforme descritos por Olden e Rooney (2006), estes autores identificaram quatro maneiras rotineiramente utilizadas para testar a homogeneização biótica: 1- “Pool” de espécies pesquisadas em dois períodos; 2- Registro de ocorrências de espécies históricas existentes e reconstruídas; 3- “Pool” de espécies históricas existentes e reconstruídas (corrigidas para extinções); 4- Conjuntos de espécies existentes-semelhança das comunidades. Artigos que só citavam o processo sem realizar um experimento ou avaliação que comprovasse o fenômeno não foram considerados. Todo o processo de filtragem das publicações foi realizado na plataforma de seleção Rayyan (OUZZANI et al., 2016).

Figura 1. Fluxograma descrevendo o protocolo de busca para os documentos selecionados na revisão sistemática no período de 1945 a 2022. 1º Critério - áreas de conhecimento; 2º Critério - Duplicatas; 3º Critério - Perda de biodiversidade; 4º Critério - Plantas como tema central; 5º Critério - somente artigos da região tropical; 6º Critério - somente artigos que quantificaram a homogeneização biológica



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

2.2 ANÁLISE DO BANCO DE DADOS

Dos artigos selecionados para análise final, retiramos os seguintes dados: ano, autores, escala da avaliação (local, regional, global), área de conhecimento, bioma estudado, tipo de vegetação, categoria de estudo (observacional, experimental, outros), componente da biodiversidade analisada (Taxonômica, Funcional e Filogenética), abordagem e métrica utilizada, tempo de avaliação e principal causa apontada para a homogeneização biótica.



2.3 MÉTODOS BIBLIOMÉTRICOS

O método bibliométrico utilizado para realizar o mapeamento do banco de dados foi a análise de co-palavras (VAN ECK; WALTMAN, 2014). Esta análise avalia o texto completo das publicações e cria mapas baseados em distância.

Cada termo tem seu tamanho orientado pela relevância em determinado conjunto de dados e a espessura das linhas que os conectam é dada pela força de associação (frequência em que os termos foram encontrados juntos), a distância entre dois itens reflete a força da relação entre eles. Selecionamos os termos com mínimo de duas ocorrências, depois restringimos para os 100 primeiros termos, conforme Van Eck e Waltman, (2010). O software utilizado para realizar o mapeamento das co-palavras foi o VOSviewer (JAN; LUDO, 2010). O fluxo de trabalho utilizado neste estudo foi descrito por Zupic e Carter (2015).

3. RESULTADOS

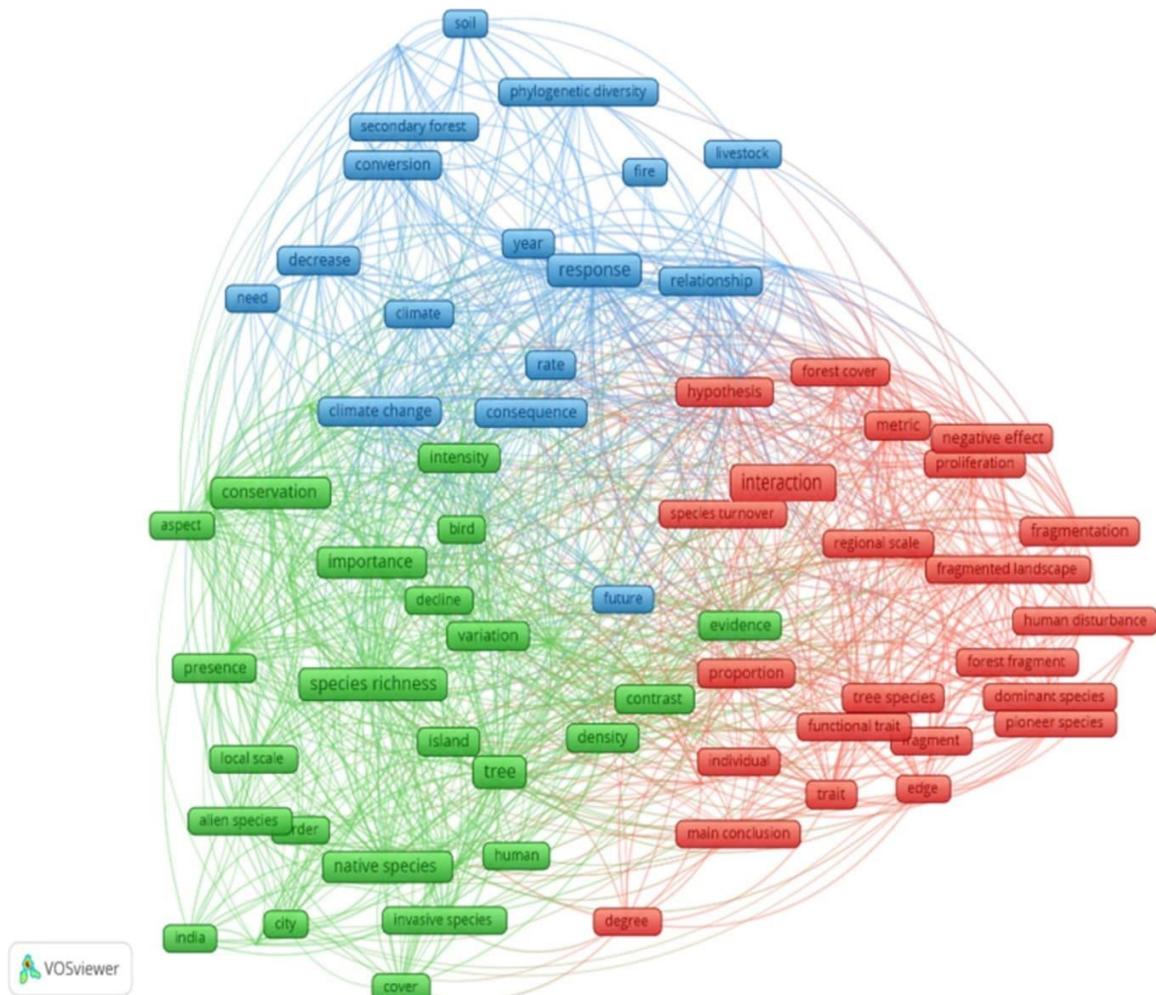
Foram identificados 5.467 artigos publicados no período de 1945 a 2022 e após o processo de filtragem foram considerados 994 artigos para a análise da homogeneização biótica em escala global, 138 em escala tropical e destes apenas 22 testaram a homogeneização biótica (**Figura 1**).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS PUBLICAÇÕES DE HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA NOS TRÓPICOS

No recorte para escala tropical ($n = 138$) apresentado na **Figura 1**, observamos que vinte e seis países (**Figura 2**) tem registros de homogeneização biótica, com destaque para a China ($n = 54$); Brasil ($n = 31$) e Austrália ($n = 29$) (**Figura 2b**). Na região tropical os países referência nestas publicações temos: Brasil ($n = 1.400$) dominando em número de citações, seguido pelo México ($n = 313$) e Costa Rica ($n = 247$) (**Figura 2c**).

(azul), conforme mostra a Figura 3. Além disso, os termos subjacentes mostram a importância de temáticas regionais como o contexto da paisagem e interações das espécies com o ambiente.

Figura 3. Análise de co-palavras extraídas do texto dos títulos, palavras-chave designadas pelo autor e resumos dos artigos filtrados para os trópicos na revisão sistemática sobre a homogeneização biológica de 1945 a 2022. Avaliação feita com base em 138 artigos do tema recortados para os trópicos. As cores representam o agrupamento das linhas de pesquisa Diversidade filogenética (azul); a ecologia da invasão de espécies (em verde); fatores ambientais e antropogênicos e a diversidade funcional (vermelho)



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

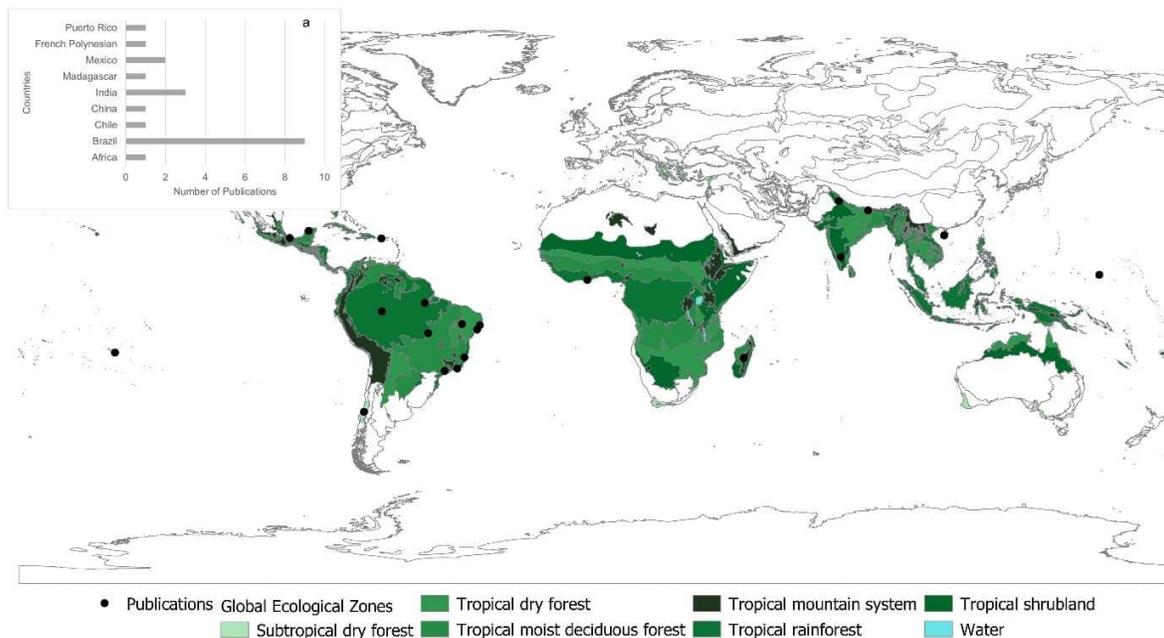


No grupo vermelho observamos termos como interação, substituição de espécies e turnover relacionados à fragmentação, evidenciando uma nova tendência constatada também na análise mais profunda dessas publicações, que é o estudo da homogeneização das interações. Estas análises vêm sendo abordadas mais recentemente devido a uma crescente preocupação com a perda de espécies-chaves observadas nas áreas, o que tem promovido a homogeneização nas interações.

O estudo da dinâmica das linhas de pesquisa no tempo, evidenciou que conceitos como diversidade filogenética e mudanças climáticas estão sendo aplicadas mais recentemente (**Figura 4**), enquanto a interação da ação antrópica (fragmentação, perda de habitat, urbanização) com a composição das espécies, são temas com histórico de estudo mais antigo, assim como a ecologia da invasão (introdução de espécies exóticas, características dessas espécies e do ambiente).

Apesar do número pequeno de publicações que efetivamente testaram a homogeneização, existem registros de estudos em nove países da região tropical, com destaque para o Brasil ($n = 9$), Índia ($n = 3$) e México ($n = 2$), conforme verificado na **Figura 5a e b**.

Figura 5. Distribuição geográfica das publicações por países da região tropical (a) e número de publicações (b) obtidos na revisão sistemática sobre a Homogeneização Biótica de 1945 a 2020



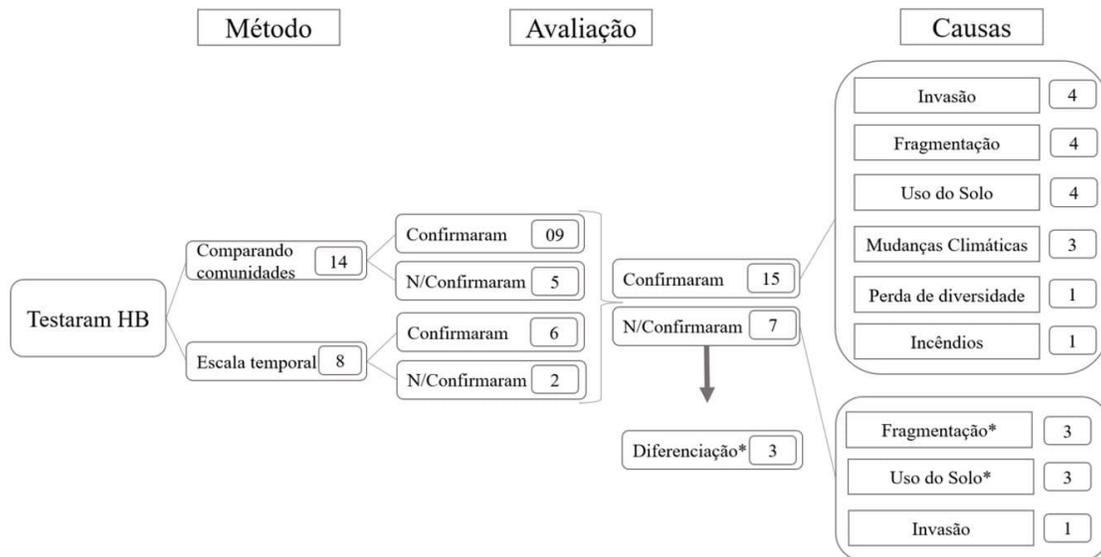
Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O tipo florestal tropical pluvial (floresta ombrófila densa) reúne o maior número de estudos nos trópicos ($n = 14$) seguido da floresta tropical semidecídua ($n = 2$) e o restante das ocorrências classificadas em outras zonas ecológicas (**Figura 5a**). No caso do Brasil, o Bioma com maior número de publicações sobre o tema foi a Mata Atlântica ($n = 5$), seguido da Floresta Amazônica ($n = 2$), a Caatinga e área de transição Amazônia/Cerrado apresentando uma publicação cada (**Figura 5a**).

Dentre os métodos identificados por Olden e Rooney (2006) o mais utilizado pelos autores foi a comparação entre comunidades ($n = 14$), seguido da avaliação em escala temporal (**Figura 6**). Apesar do maior número de publicações utilizando a

comparação entre comunidades, proporcionalmente, a avaliação em escala temporal teve maior sucesso com 75% de confirmação (n = 6), contra 64% (n = 9) para o método utilizando a comparação entre comunidades.

Figura 6. Fluxograma descrevendo os métodos, a avaliação e as principais causas apontadas para a ocorrência de Homogeneização Biótica (HB) em publicações que testaram a ocorrência desse fenômeno (n=21), o asterisco aponta as principais causas para a diferenciação das comunidades



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Avaliando as publicações que testaram a ocorrência desse fenômeno (n = 22), ficou evidenciado que as principais causas testadas para a homogeneização biótica foram: a Fragmentação (n = 4), a Invasão de espécies (n = 4) e a mudança de uso do solo (n = 4).

Entretanto, Arroyo-Rodríguez *et al.* (2013), Solar *et al.* (2015) e Sfair *et al.* (2016), Inague; Zwiener; Marques (2021), observaram o fenômeno contrário, ou seja, o aumento da diversidade biótica nas áreas. Esse processo parece ser um achado dependente de escala, uma vez que observaram a diferenciação em nível local (parcela, fragmento) enquanto em escala de paisagem não foi confirmado essa diferença. A diversificação nestas áreas foi resultado da fragmentação (MARTINEZ



et al., 2010); múltiplos distúrbios humanos (SFAIR *et al.*, 2016) e histórico de uso da terra (URIBE *et al.*, 2021) e mudanças climáticas (INAGUE; ZWIENER; MARQUES, 2021).

Dentre as publicações que analisaram a variação na similaridade de comunidades em escala temporal ($n = 8$), ou seja, antes e após a ocorrência do evento de degradação, conforme sugerido por Olden e Rooney (2006), duas não confirmaram a homogeneização biótica. Lobo *et al.* (2011), ao analisarem comparativamente a flora arbórea da Mata Atlântica, antes e após 1980, observaram que a comunidade vegetal passou por um processo de fragmentação e conseqüente aumento no número de espécies nativas pioneiras e secundárias iniciais.

O aumento na similaridade florística como resultado de eventos de degradação ambiental (incêndios florestais) também foi relatado por Silva *et al.* (2000). Em uma escala temporal de sete anos (2007 a 2014) foi possível observar que o aumento da frequência de incêndios promoveu a extinção local de espécies e, portanto, o aumento da similaridade, de forma acelerada, em uma área especialmente sensível como a transição entre Cerrado e Floresta Amazônica.

A homogeneização também foi avaliada como resultado das mudanças climáticas (INAGUE; ZWIENER; MARQUES, 2021; ZWIENER, 2018). Nesse contexto, foram comparados as condições climáticas atuais e cenários futuros. Estes autores, demonstraram que em cenários de mudanças climáticas severas haverá redução, em larga escala, na diversidade e aumento da similaridade de espécies, entre as comunidades. Concluindo que a expansão de espécies generalistas será responsável pelo aumento da similaridade das espécies. Avaliando a vegetação de restinga da Mata Atlântica, Inague; Zwiener; Marques (2021) encontrou a diversificação no componente taxonômico e a homogeneização no componente funcional, destacando que as mudanças climáticas restringirão a diversidade funcional a características mais aclimatadas.



Outro fator abordado em escala temporal foram as consequências de eventos de seca extrema na diversidade taxonômica, funcional e filogenética de florestas úmidas (AGUIRRE-GUTIÉRREZ *et al.*, 2020). A escala temporal utilizada contempla o período de 1980-1990 e 2010-2013, observando o aumento da diversidade taxonômica e funcional, em florestas úmidas enquanto em florestas mais secas apresentou redução. Na diversidade filogenética observaram uma grande redução no gradiente de úmido a mais seco.

Um fator recorrente na avaliação da homogeneização é a mudança de uso e cobertura da terra, contudo apenas uma publicação avaliou em escala temporal. Uribe *et al.* (2021) estudaram a influência deste fator sobre a biodiversidade em plantações de *Pinus*, a escala temporal foi representada pelo tempo de rotação de cada plantio (20 anos). Foi constatado que plantações que substituíram diretamente as florestas nativas, apresentaram grande número de espécies especialistas e menor número de generalistas, e que o número de rotações, não influenciou a diversidade local. Desta forma a mudança de uso e cobertura do solo não promoveu a homogeneização das espécies em área de plantação de *Pinus*.

As publicações que testaram a ocorrência do processo de homogeneização e encontraram resultado negativo, avaliaram quanto às causas: a fragmentação, a mudança de uso do solo e a invasão biológica. Entre elas, Martines *et al.* (2010) avaliaram a mudança de uso do solo, características do ambiente e presença de espécies invasoras, concluíram que o estabelecimento de espécies estava relacionado ao substrato e não a mudança de uso do solo. Já Sfair *et al.* (2016) avaliaram se em áreas sujeitas ao efeito de borda, estava ocorrendo homogeneização ou divergência taxonômica/funcional, e a homogeneização não foi confirmada. Arroyo-Rodrigues *et al.* (2013) também avaliou estes dois processos em um gradiente de desmatamento e não constatou homogeneização.

Meyer *et al.* (2014) investigaram a propensão de ambientes insulares à homogeneização avaliando a mudança de uso do solo e a invasão de espécies



exóticas. Constatou-se que estes fatores promoveram grandes mudanças nos ambientes, mas não resultaram em homogeneização das áreas estudadas.

Sanaphre-Villanueva *et al.* (2017) avaliaram se a fragmentação promoveria a homogeneização na diversidade taxonômica e funcional de espécies generalistas em uma cronossequência sucessional. Estes autores observaram a ocorrência de homogeneização taxonômica como resultado da dominância de espécies generalistas, mas concluíram que essa dominância não resultou em homogeneização funcional.

O componente da biodiversidade mais abordado nas pesquisas foi o taxonômico (n = 13). Alguns estudos abordaram dois componentes simultaneamente (taxonômico e funcional (n = 5) e apenas dois artigos avaliaram os três componentes, (taxonômico, funcional e filogenético). A avaliação multitaxa foi realizada apenas em três publicações (ARAVIND *et al.*, 2010; SOLAR *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2022),² destas duas confirmaram a ocorrência de homogeneização e uma identificou a diversificação.



Tabela 1. Lista das publicações que testaram a homogeneização biótica na região tropical, destaque para principais características abordadas. Em Cinza as publicações que não confirmaram a homogeneização biótica. Características funcionais avaliadas: área foliar total (LA), unidade fotossintética mínima (MPU), conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), área foliar específica (SLA); Densidade específica da madeira (WSG); pulvinização foliar (LPulv); pubescência foliar (LPb); exsudatos de plantas (Ex); espinhos da planta (Sp); composição foliar (LC); síndrome de dispersão (Dis); deciduidade (LD); volume de sementes (SV); Altura Máxima (Hmax); Diâmetro a altura do peito (DAP); massa corporal adulta (MCA); amplitude da dieta (AD); amplitude do habitat (AH); nível trófico (NT); ciclo de atividade (Cat); estrato de forrageamento (EF); status migratório (SM); tempo de vida (TV); forma de crescimento/forma de vida (FC) e comprimento do broto (CB); condutividade específica do caule potencial (kp), fração do lúmen do vaso (VLF), diâmetro dos vasos (VD), densidade do vaso (pV), teor de nitrogênio (NL) e fósforo foliar (PL), espessura foliar (ThicknessL), capacidade fotossintética em taxas máximas de assimilação de carbono (Amax); em taxas de assimilação de carbono saturado de luz (Asat); densidade da madeira (WSG); fenologia (F); guilda (G) e capacidade de fixação de nitrogênio (CFN)

Autor	Componente avaliado	Variável utilizada	Escala espacial	Atributo funcional	Tipo florestal
Pysek & Richardson, 2006	Taxonômico	Número de espécies	Global		Global
Kueffer et al., 2010	Taxonômico	Número de espécies	Global		Tropical rainforest
Aravind et al., 2010	Taxonômico	Abundância	Local		Tropical shrubland
Lobo et al., 2011	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical rainforest
Tabarelli et al., 2012	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical rainforest
Dar & Reshi, 2015	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical shrubland
Ribeiro-Neto et al., 2016	Taxonômico	Número de espécies	Local		Tropical dry forest
Thier & Wesenberg, 2016	Taxonômico	Número de espécies	Local		Tropical rainforest
Da Silva et al., 2018	Taxonômico	Número de espécies	Local		Tropical rainforest
Zwiener, 2018	Taxonômico	Registro de ocorrência	Regional		Tropical rainforest
Park & Razafindratsima, 2019	Taxonômico/Funcional / Filogenético	Número de espécies	Regional	MCA, AD, AH, NT, Cat, EF	Tropical rainforest
Dar & Reshi, 2020	Taxonômico/Funcional	Número de espécies	Regional	TV, FC e CB	Tropical rainforest
Uribe et al., 2021	Taxonômico	Número de espécies/ Abundância	Local		subTropical dryforest
Inague et al., 2021	Taxonômico/Funcional	Número de espécies	Regional	Hmax, WD, LA, SL, FL	Tropical rainforest
Zhang et al., 2022	Taxonômico	Número de espécies	Local		Tropical moist deciduous forest/ Floresta tropical semidecídua
Martinez, 2010	Taxonômico/Funcional	Número de espécies	Regional	SV, DAP, Hmax e SD	Tropical rainforest
Arroyo-Rodríguez et al., 2013	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical rainforest
Meyer et al., 2015	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical rainforest
Solar et al., 2015	Taxonômico	Número de espécies/ Abundância	Regional		Tropical rainforest
Sfair et al., 2016	Taxonômico/Funcional	Número de espécies	Local	LA, SLA, WSG, SV e ALM	Tropical rainforest
Sanaphre-villamueva et al., 2017	Taxonômico/Funcional	Abundância	Local	LA, MPU, LDMC, SLA, WSG; LPulv; LPb; Ex; Sp; LC; Dis LD e SV K _p VLF; VD;	Tropical moist deciduous forest/ Floresta tropical semidecídua
Aguirre-gutiérrez et al., 2020	Taxonômico/Funcional / Filogenético	Número de espécies	Regional	pV LA; SLA; NL; PL; ThicknessL; Amax; Asat; Hmax; WSG; G; CFN	Tropical rainforest

Fonte: Elaborada pela autora (2023).



Do conjunto de artigos que utilizaram somente o componente taxonômico para avaliar a homogeneização biótica (n = 15), grande parte concluiu que está ocorrendo a homogeneização (n=10); duas publicações não confirmaram a homogeneização biótica (SOLAR *et al.*, 2015; URIBE *et al.*, 2021). E quatro publicações não foram conclusivas em seus resultados (ARROYO-RODRÍGUEZ *et al.*, 2013; MEYER *et al.*, 2014; PYSEK; RICHARDSON, 2006; URIBE *et al.*, 2021).

O componente funcional está sendo avaliado em pesquisas de homogeneização biótica por meio dos seguintes caracteres: síndromes de dispersão (n = 2), formas de vida (n = 2), características das folhas (n = 7) e densidade da madeira (n = 3). As características escolhidas estão relacionadas à economia de água e nutrientes, tolerância à sombra e colonização. Ou seja, à capacidade de sobrevivência em ambiente restritivo, como seria de se esperar em áreas degradadas e ou sob invasão biológica.

Das publicações que avaliaram o componente funcional (n = 7), quatro destes artigos constataram a ocorrência da homogeneização funcional. O restante identificou a diversificação funcional, a justificativa apresentada nestes trabalhos foi a grande redundância funcional das áreas, que até o momento mantinham a diversidade funcional da região.

Apenas dois trabalhos abordaram a homogeneização filogenética (AGUIRRE-GUTIÉRREZ *et al.*, 2020; PARK; RAZAFINDRATSIMA, 2019) avaliando em conjunto a diversidade taxonômica e funcional. Estes trabalhos mostraram a importância da abordagem simultânea dos três componentes, devido à singularidade de cada componente e de seus efeitos diferenciados. Estes trabalhos concluíram que está ocorrendo homogeneização biótica nas áreas avaliadas e constataram a homogeneização nos três componentes da biodiversidade. Somente um destes artigos avaliou em escala temporal.



4.DISSCUSSÃO

Uma das primeiras questões observadas a partir desta revisão é a generalidade na utilização do termo 'homogeneização biótica', muitas das vezes este termo foi utilizado apenas para designar a perda de diversidade em uma região, sem a confirmação do processo. Este uso simplista do termo esteve presente em diversos artigos que trataram da riqueza e diversidade de espécies ou mesmo aqueles que tratando da diversidade de uma área, observaram a invasão de uma espécie e alertaram para a possibilidade de futura homogeneização biótica, sem de fato testar a homogeneização, conforme salientado por Olden e Rooney (2006).

O uso inadequado pode ser resultado da definição tardia do processo de homogeneização biótica, o qual foi definido oficialmente apenas em 1999 (MCKINNEY; LOCKWOOD, 1999). Apesar de estar documentada desde 1958, quando Charles S. Elton descreveu o processo de homogeneização biótica resultante da invasão por espécies exóticas. Ou mesmo da generalidade do termo usado para definir o processo, como discutido por Olden e Rooney (2006).

Desde sua definição oficial por Mckinney e Lockwood, (1999), sucessivos registros destacam o processo de homogeneização biótica como efeito inadiável da invasão biológica (LAMBTON *et al.* 2008). Contudo, conforme destacou Oldem (2006) a invasão não é homogeneização biótica. Nem toda invasão gera homogeneização biótica ou extinção de espécies e, nem toda variação na diversidade de espécies corresponde a homogeneização biótica (ARROYO-RODRÍGUEZ *et al.*, 2013).

O desenvolvimento da área de pesquisa como foi verificado, reflete exatamente o histórico das pesquisas em homogeneização biótica, que inicialmente tratavam da homogeneização, fortemente relacionada à expansão de espécies exóticas e suas características (CHARLES, 1958; MCKINNEY, 1998) e posteriormente agregando outras facetas da diversidade (GARCÍA-NAVAS *et al.*, 2020; OLDEN; POFF, 2004), ampliando a escala de avaliação tanto no espaço quanto no tempo (RAHEL, 2002)



e mais recentemente relacionando a problemas atuais como: fragmentação de habitat e as mudanças climáticas (AGUIRRE-GUTIÉRREZ *et al.*, 2020; INAGUE; ZWIENER; MARQUES, 2021). O baixo número de artigos que testaram a homogeneização biótica na região tropical ($n = 22$) mostra a complexidade intrínseca a esse tipo de análise. Por ser tratar de uma análise essencialmente comparativa, a mesma deve ser feita em escala temporal, com base em dados consistentes de duas ou mais áreas diferentes, com pelo menos uma área livre de impactos.

A diferença no número de registros de homogeneização biótica nas regiões temperadas ($n = 994$) para os trópicos ($n = 138$) pode ser justificada por três questões: início da degradação ambiental precoce ocorrida na revolução industrial (FOSTER, 1999), viés de amostragem e o número de publicações encontradas para a região temperada que é mais que o triplo do número de artigos registrados para os trópicos ($n = 856$). Outro fator é a ausência de dados de campo padronizados de longo prazo para testar a homogeneização biótica de forma efetiva na região tropical (CONDIT, 1995; HARRIS *et al.*, 2021).

A degradação ambiental foi um fator de destaque nos estudos de homogeneização, sendo a principal causa apontada para sua ocorrência nas publicações avaliadas, variando apenas na escala da degradação local ou regional (e.g. mudança de uso do solo, fragmentação, fogo) e global (e.g. mudanças climáticas).

No Brasil, os estudos abordam principalmente, os efeitos da ação antrópica, historicamente presente na Mata Atlântica e na transição Amazônia/Cerrado, região hoje conhecida como arco do desmatamento, a última fronteira agrícola da região central do Brasil (FEARNSIDE, 2020).

A prevalência do Bioma Mata Atlântica nos estudos que testaram homogeneização biótica nos trópicos (25% da produção científica na área) parece estar relacionada a fatores intrínsecos como: fragmentação historicamente presente neste bioma



(MELLO *et al.*, 2020), e à elevada biodiversidade e endemismo (MITTERMEIER *et al.*, 2004). Além disso, esta região possui a maior concentração de instituições de pesquisa e recursos humanos em atividade no Brasil (INEP, 2022).

Observamos o domínio de estudos baseado apenas no componente taxonômico, provavelmente devido ao custo envolvido nas pesquisas com coleta de dados funcional e filogenético e a pouca oferta de banco de dados robustos para esses componentes nos trópicos (GUIMARÃES *et al.*, 2005).

A elevada riqueza da região tropical proporciona a coexistência de muitas espécies animais e vegetais e um número inestimável de interações, como a polinização, herbivoria, dispersão e transferência de nutrientes (TOBY KIERS *et al.*, 2010). Assim, estas interações, estão ameaçadas pelas ações antrópicas e o aumento de homogeneização biótica, que tem levado a quebra dessas relações entre plantas e animais, promovendo assim a homogeneização das interações (CÂMARA *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2019; TYLIANAKIS *et al.*, 2007). Este processo foi detectado na avaliação do banco de dados do presente artigo e pode ser considerado como uma das tendências atuais do estudo da homogeneização.

Tão importante quanto avaliar as várias facetas da biodiversidade de uma determinada comunidade vegetal ou região, é avaliar o maior número de taxa simultaneamente, visto que cada um pode responder de maneira diferenciada ao processo de homogeneização biótica, devido ao efeito cascata de perda de diversidade em um desses taxa, conforme observado nos estudos de (ARAVIND *et al.*, 2010; PARK; RAZAFINDRATSIMA, 2019; SOLAR *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2022).

As comunidades vegetais são altamente dinâmicas, principalmente sob efeito da ação antrópica (LAURANCE *et al.*, 2006), o que torna quase impossível prever os caminhos do processo de substituição de espécies. Os estudos trazem duas possibilidades: a ocorrência da homogeneização biótica ou a diversificação



(ESCOBAR *et al.*, 2013). E como discutido anteriormente, estudos de longo prazo são fundamentais para avaliar as mudanças nas comunidades no tempo e, assim, melhorar nossa compreensão dos processos de homogeneização versus diferenciação em paisagens modificadas pelo homem (HADDAD *et al.*, 2015; KRAMER *et al.*, 2022; REES *et al.*, 2001).

Com base nos estudos que testaram a homogeneização biótica nos trópicos percebemos que está ocorrendo à perda de diversidade de espécies em muitos dos casos, mas nem sempre resultando em homogeneização biótica. Contudo a não confirmação pode ser resultado também da abordagem utilizada para a avaliação da homogeneização. A maioria dos estudos aqui destacados utilizou a semelhança entre comunidades, ou entre gradientes de distúrbios, conforme descrito por Olden e Rooney (2006), contudo, assim como discutido por esses autores, esta não é a melhor forma de se quantificar a homogeneização biótica, sendo preferível a avaliação em dois períodos do tempo (OLDEN; ROONEY, 2006).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos de homogeneização biótica nos trópicos vêm proporcionando importantes avanços para o entendimento deste processo. A degradação sucessiva, mas persistente e em grande escala, pode levar regiões muito diversas como os *hotspots* à homogeneização biótica.

Constatamos que diferente do conceito inicial que colocou a introdução de espécies exóticas como principal causa da homogeneização, mais recentemente, as publicações têm mostrado que a principal causa tem sido a mudança de uso do solo e que, nos trópicos espécies generalistas nativas podem assumir importante papel na homogeneização por meio do grande aumento na dominância destas espécies em ambientes degradados.



Entre os componentes geralmente avaliados, o componente taxonômico foi o mais afetado, seguido dos componentes funcional e filogenético. Entretanto, estas avaliações foram realizadas principalmente em escala espacial. Raros foram os trabalhos que utilizaram a escala temporal para avaliar esse fenômeno.

Além dos componentes taxonômico, funcional e filogenético, o efeito nas interações ecológicas ou a homogeneização das interações é mais uma faceta da diversidade a ser avaliada, se mostrando uma temática emergente no âmbito dos estudos sobre a homogeneização biótica. A perda dessas interações representa um grande risco para a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Para o sucesso das estratégias de conservação no futuro é importante o entendimento dos fatores e padrões da perda de biodiversidade em escalas espaciais e temporais e a compreensão da homogeneização biótica se torna imprescindível neste contexto. Este é um processo que abrange muitas dimensões da crise da biodiversidade moderna, pois contempla invasões e extinções de espécies.

As pesquisas de homogeneização biótica devem avançar no sentido de aumentar os estudos em áreas prioritárias para conservação (*hotspots* de biodiversidade dos trópicos). Além da implantação de estudos de monitoramento de longo prazo nas áreas onde há relatos de invasão de espécies, para proporcionar uma apropriada avaliação da ocorrência ou não de homogeneização biótica.

As pesquisas em homogeneização biótica são ainda muito recentes e por isso geram mais perguntas do que respostas. Torna-se necessário esclarecer, por exemplo, se a região tropical é mais susceptível a ocorrência de homogeneização biótica e se esse processo é mais rápido ou mais lento que o observado para áreas temperadas.

Entender o cenário atual e fazer projeções sobre os efeitos da destruição de habitats e das mudanças climáticas no processo de homogeneização biótica em áreas



prioritárias para a conservação é fundamental para o estabelecimento de ações mitigadoras.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES). O Marcelo Trindade Nascimento conta com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq: 305617/2018-4) e da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ E-26/202.855/2018).

Agradecemos à Cristiane Marques Santos e John DuVall Hay, pelas críticas e sugestões ao manuscrito.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE-GUTIÉRREZ, J. et al. Long-term droughts may drive drier tropical forests towards increased functional, taxonomic and phylogenetic homogeneity. **NATURE COMMUNICATIONS**, p. 1–10, 2020.

ARAVIND, N. A. *et al.* Impact of the invasive plant, *Lantana camara*, on bird assemblages at Male Mahadeshwara Reserve Forest, South India. **TROPICAL ECOLOGY**, v. 51, n. 2, SI, p. 325–338, 2010.

ARROYO-RODRÍGUEZ, V. *et al.* Plant b-diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 6, p. 1449–1458, 2013.

CÂMARA, T. *et al.* Effects of chronic anthropogenic disturbance and rainfall on the specialization of ant–plant mutualistic networks in the Caatinga, a Brazilian dry forest. **Journal of Animal Ecology**, v. 87, n. 4, p. 1022–1033, 2018.

CHARLES S. E. **The Ecology of Invasions by Animals and Plants**. 1. ed. Chicago: Methuen & Co. Ltd. v. 1, 1958.



CONDIT, R. Research in large, long-term tropical forest plots. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, n. 1, p. 18–22, 1995.

DÍAZ, S. *et al.* Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. **Science**, v. 366, n. 6471, 2019.

DIRZO, R. **Tropical Forests BT - Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the 21st Century**. In: CHAPIN, F. S.; SALA, O. E.; HUBER-SANNWALD, E. (Eds.). New York, NY: Springer New York, p. 251–276, 2001

ESCOBAR, F. *et al.* Plant b-diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses. **Jornal of Ecology**, v. 101, p. 1449–1458, 2013.

ESTES, J. A. *et al.* Trophic downgrading of planet earth. **Science**, v. 333, n. 6040, p. 301–306, 2011.

FEARNSIDE, P. M. The Deforestation of the Brazilian Amazon: 9 – Roads. **Blog Amazônia Real**. 2020.

FINLAYSON, M. *et al.* **Millennium Ecosystem Assessment Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis**. Washington, DC.: World Resources Institute, v. 1, 2005.

GARCÍA-NAVAS, V. *et al.* Temporal homogenization of functional and beta diversity in bird communities of the Swiss Alps. **Diversity and Distributions**, v. 26, n. 8, p. 900–911, 2020.

GUIMARÃES, D.; GARRASTAZU, M.; HIGUCHI, N. National System of Permanent Plots: proposal for a methodological model. **Documentos - EMBRAPA Florestas (Brazil)**, p. 67, 2005.

HADDAD, N. M. *et al.* Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Advancement of science**, v. 1, n. March, p. 1–10, 2015.

HARRIS, D. J. *et al.* Large trees in tropical rain forests require big plots. **Plants, People, Planet**, v. 3, n. 3, p. 282–294, 2021.

INAGUE, G. M.; ZWIENER, V. P.; MARQUES, M. C. M. Climate change threatens the woody plant taxonomic and functional diversities of the Restinga vegetation in Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 1, p. 53–60, 1 jan. 2021.



INEP. Notas estatísticas do censo da educação do ensino superior 2020. **Censo da Educação Superior**, Brasília MEC, 2022.

JAN, N.; LUDO, V. E. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Cientometrics**, v. 84, p. 523–538, 2010.

KOLAR, C. S.; LODGE, D. M. Progress in invasion biology: predicting invaders. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 4, p. 199–204, 2001.

KRAMER, J. M. F.; ZWIENER, V. P.; MÜLLER, S. C. Biotic homogenization and differentiation of plant communities in tropical and subtropical forests. **Conservation Biology**, n. October 2022, p. 1–13, 2022.

LAMBDON, P. W.; LLORET, F.; HULME, P. E. Do non-native species invasions lead to biotic homogenization at small scales? The similarity and functional diversity of habitats compared for alien and native components of Mediterranean floras. **Diversity and Distributions**, v. 14, n. 5, p. 774–785, 2008.

LAURANCE, W. F. *et al.* Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees. **Ecology**, v. 87, n. 2, p. 469–482, 2006.

LEWIS, S. L.; EDWARDS, D. P.; GALBRAITH, D. Increasing human dominance of tropical forests. **Science**, v. 349, n. 6250, p. 827–832, 2015.

LOBO, D. *et al.* Forest fragmentation drives Atlantic forest of northeastern Brazil to biotic homogenization. **DIVERSITY AND DISTRIBUTIONS**, v. 17, n. 2, p. 287–296, 2011.

MARTINEZ, O. J. A. Invasion by native tree species prevents biotic homogenization in novel forests of Puerto Rico. **PLANT ECOLOGY**, p. 1–16, 2010.

MAXWELL, S. L. *et al.* Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. **Nature** 2016 **536:7615**, v. 536, n. 7615, p. 143–145, 10 ago. 2016.

MCKINNEY, M. L. On predicting biotic homogenization: Species-area patterns in marine biota. **Global Ecology and Biogeography Letters**, v. 7, n. 4, p. 297–301, 1998.

MCKINNEY, M. L.; LOCKWOOD, J. L. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. **TREE**, v. 5347, n. Table 1, p. 450–453, 1999.



MELLO, K. DE *et al.* Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, n. June, p. 110879, 2020.

MEYER, J.-Y. *et al.* The importance of novel and hybrid habitats for plant conservation on islands: a case study from Moorea (South Pacific). **BIODIVERSITY AND CONSERVATION**, p. 83–101, 2015.

MITTERMEIER, R. A. *et al.* **Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. 1. ed. Mexico: Conservation International; CEMEX, 392p. p. 2004.

OUZZANI, M. *et al.* Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 5, n. 1, p. 210, 5 dez. 2016.

O'DEA, R. E. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses in ecology and evolutionary biology: a PRISMA extension. **Biological Reviews**, v. 96, n. 5, p. 1695–1722, 2021.

OLDEN, J. D.; POFF, N. L. Ecological processes driving biotic homogenization: testing a mechanistic model using fish faunas. **Ecology**, v. 85, n. 7, p. 1867–1875, 2004.

OLDEN, J. D.; ROONEY, T. P. On defining and quantifying biotic homogenization. **Global Ecology and Biogeography**, v. 15, n. 2, p. 113–120, 2006.

OLIVEIRA, F. M. P. *et al.* Effects of increasing aridity and chronic anthropogenic disturbance on seed dispersal by ants in Brazilian Caatinga. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n. 6, p. 870–880, 2019.

PAIN, A. *et al.* What Is Secondary about Secondary Tropical Forest? Rethinking Forest Landscapes. **Human Ecology**, v. 49, n. 3, p. 239–247, 2021.

PARK, D. S.; RAZAFINDRATSIMA, O. H. Anthropogenic threats can have cascading homogenizing effects on the phylogenetic and functional diversity of tropical ecosystems. **ECOGRAPHY**, v. 42, n. 1, SI, p. 148–161, 2019.

PENN, J. L.; DEUTSCH, C. Avoiding ocean mass extinction from climate warming. **Science**, v. 376, n. 6592, p. 524–526, 2022.

PYSEK, P.; RICHARDSON, D. M. The biogeography of naturalization in alien plants. **Jornal of biogeography**, v. 33, p. 2040–2050, 2006.



RAHEL, F. J. Homogenization of fish faunas across the United States. **Science**, v. 288, n. 5467, p. 854–856, 2000.

RAHEL, F. J. Homogenization of freshwater faunas. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 33, p. 291–315, 2002.

REES, M. *et al.* Long-Term Studies of Vegetation Dynamics. **Science**, v. 293, n. 5530, p. 650–655, 2001.

SANAPHRE-VILLANUEVA, L. *et al.* Patterns of plant functional variation and specialization along secondary succession and topography in a tropical dry forest. Patterns of plant functional variation and specialization along secondary succession and topography in a tropical dry forest. **Environmental research Letters**, v. 12, n. 5, 2017.

SFAIR, J. C. *et al.* Taxonomic and functional divergence of tree assemblages in a fragmented tropical forest. **ECOLOGICAL APPLICATIONS**, v. 26, n. 6, p. 1816–1826, 2016.

SILVA, J. M. C. DA; TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future ^rora of the Atlantic forest of northeast Brazil. **Nature**, v. 404, n. March, p. 72–74, 2000.

SOLAR, R. R. DE C. *et al.* How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes? **Ecology Letters**, v. 18, n. 10, p. 1108–1118, 2015.

TOBY KIERS, E. *et al.* Mutualisms in a changing world: an evolutionary perspective. **Ecology Letters**, v. 13, n. 12, p. 1459–1474, 2010.

TYLIANAKIS, J. M.; TSCHARNTKE, T.; LEWIS, O. T. Habitat modification alters the structure of tropical host–parasitoid food webs. **Nature**, v. 445, n. 7124, p. 202–205, 2007.

URIBE, S. V; GARCÍA, N.; ESTADES, C. F. Effect of Land Use History on Biodiversity of Pine Plantations. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, 2021.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Visualizing Bibliometric Networks. Em: **Measuring Scholarly Impact**. [s.l.] Springer International Publishing, p. 285–320, 2014.

VAN ECK, N.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.



ZHANG, Y. M. *et al.* Biotic homogenization increases with human intervention: implications for mangrove wetland restoration. **ECOGRAPHY**, v. 2022, n. 4, 2022.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.

ZWIENER, V. P. Climate change as a driver of biotic homogenization of woody plants in the Atlantic Forest. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, p. 298–309, 2018.

Enviado: 26 de maio, 2023.

Aprovado: 20 de junho, 2023.

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – Centro de Biociências e Biotecnologia (CBB). Avenida Alberto Lamego 2000 Parque Califórnia 28013620 - Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil. E-mail: 201822220001@pq.uenf.br/; pat.marques.s@hotmail.com. ORCID: 0000-0001-9700-97X. Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2743178685516399>.

² Orientador. Professor Associado, Chefe do Laboratório de Ciências Ambientais (LCA). UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – Centro de Biociências e Biotecnologia (CBB). Avenida Alberto Lamego 2000 Parque Califórnia 28013620 - Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil. E-mail: mtn@uenf.br. ORCID: 0000-0003-4492-3344. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3704305950005564>.