



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

CAIO PONTE CARVALHO FERREIRA

**O FUNGO QUITRÍDIO *Batrachochytrium dendrobatidis* NOS ANFÍBIOS DO
BRASIL**

FORTALEZA

2021

CAIO PONTE CARVALHO FERREIRA

O FUNGO QUITRÍDIO *Batrachochytrium dendrobatidis* NOS ANFÍBIOS DO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas Bacharelado da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cascon.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F44f Ferreira, Caio Ponte Carvalho.
O fungo quitrídio *Batrachochytrium dendrobatidis* nos anfíbios do Brasil / Caio Ponte Carvalho Ferreira. – 2021.
40 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Ciências Biológicas, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Cascon.
1. Quitridiomycose. 2. Fungo quitrídio. 3. Anura. 4. Gymnophiona. I. Título.

CDD 570

CAIO PONTE CARVALHO FERREIRA

O FUNGO QUITRÍDIO *Batrachochytrium dendrobatidis* NOS ANFÍBIOS DO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso submetido à Coordenação do curso de bacharelado em Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cascon (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Denise Cavalcante Hissa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jorge Iván Sánchez Botero
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À minha namorada Ádria Helen Pessoa Farias pelo suporte, reflexões e a imensa ajuda recebida nessa fase final de ciclo da graduação.

Ao meu pai, pela ajuda e compreensão nos momentos difíceis que me propiciou realizar este trabalho.

Aos meus amigos e professores pelo convívio, conversas e os ensinamentos durante a graduação.

Ao Professor Dr. Paulo Cascon, por me orientar nesse trabalho e durante várias monitorias.

À professora Denise Cavalcante Hissa e ao professor Jorge Iván Sánchez Botero, participantes da banca examinadora, pelas correções, sugestões e pelo tempo que reservaram para me avaliar.

RESUMO

Os anfíbios vêm sofrendo declínios severos em populações pelo mundo. O Brasil possui uma ampla diversidade desse grupo bastante ameaçado. Esse declínio de anfíbios tem várias causas, uma delas é o surgimento de patógenos, como *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) que se tornou grande preocupação no mundo, pois pode causar declínios drásticos e mesmo extinções de algumas espécies de anuros no mundo. Além de anuros, o *B. dendrobatidis* também infecta Gymnophiona e Caudata. Comparado com o mundo, as pesquisas relacionadas com a quitridiomicose no Brasil ainda são pouco expressivas, por esse motivo o atual estudo teve por objetivo fazer um levantamento dos artigos sobre a presença deste fungo em anfíbios no Brasil, até o final de 2020. No total, 56 artigos publicados em 29 revistas foram selecionados e divididos em 4 grupos, do mais para o menos numeroso: trabalhos com foco na ocorrência de Bd, trabalhos com foco nos efeitos do Bd, trabalhos de biologia molecular e trabalhos de microbiologia. Nos trabalhos com foco em ocorrência do Bd, 13 espécies de Anura e 2 de Gymnophiona tiveram registros de contaminação pelo fungo Bd, com o PCR como método de detecção mais confiável no caso de girinos, que ocorreram em sua grande maioria na região da Mata Atlântica, especificamente no estado de São Paulo. As famílias de anuros mais afetadas foram Hylidae, Hylodidae e Leptodactylidae. A espécie de anfíbio que mais apareceu foi *Dendropsophus minutus*. Trabalhos com foco nos efeitos do Bd se dedicaram geralmente, a comparar espécies com diferentes histórias de vida. Trabalhos com foco molecular, em sua maioria, compararam duas linhagens diferentes e linhagens de fora do Brasil. Por sua vez, trabalhos com foco na microbiologia lidaram com bactérias que impediam o crescimento do fungo quitrídio. Mais trabalhos no Brasil divididos em todas as suas regiões e biomas são necessários para conhecermos a distribuição do fungo. O foco em espécies que são mais sensíveis ao fungo devem ser a prioridade pois sofrem mais com as infecções.

Palavras-chave: Quitridiomicose; Fungo quitrídio; Anura; Gymnophiona.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	OBJETIVOS.....	9
2.1	Objetivos gerais.....	9
2.2	Objetivos específicos.....	9
3	METODOLOGIA.....	10
4	RESULTADOS.....	12
4.1	Características gerais do levantamento.....	12
4.2	Publicações com foco na ocorrência do Bd.....	16
4.3	Estudos publicados com outros focos.....	21
5	DISCUSSÃO.....	23
6	CONCLUSÃO.....	28
	REFERÊNCIAS.....	29
	APÊNDICE A – Lista de referências dos artigos levantados.....	36

1. INTRODUÇÃO

O crescimento de forma não sustentável dos padrões de consumo humano vem modificando dramaticamente o meio ambiente, com desmatamentos e uso de recursos naturais que o degrada direta ou indiretamente. Esses fatores vêm causando alterações em populações de fauna e flora do mundo, que vêm sofrendo declínios em um ritmo maior que o natural (CEBALLOS *et al.*, 2015). Além disso, vários outros fatores também entram em cena, como espécies invasoras (MCNEELY, 2001), perda e fragmentação ou alteração de habitat (DOBSON *et al.*, 2006), mudanças climáticas (PARMESAN & YOHE, 2003) e patógenos emergentes (KEESING *et al.*, 2010).

Dentre esses declínios, as de populações de anfíbios vêm, particularmente, preocupando cientistas, como demonstrado no primeiro Congresso Mundial de Herpetologia, realizado em 1989 (GARNER *et al.*, 2010). Diversos registros relatavam que os declínios, contrariando pensamentos mais intuitivos de desmatamento ou poluição, aconteciam em habitats inalterados, como em Porto Rico (HEDGES, 1993), Brasil (HEYER *et al.*, 1988), Estados Unidos (SHERMAN & MORTON, 1993), Austrália e Costa Rica (BARINAGA, 1990) e vários outros casos.

Um dos suspeitos de provocar esses declínios e extinções foi um patógeno, pois entre 1996 e 1997 várias mortes de anuros nos Estados Unidos da América foram relacionadas à uma doença de pele. As análises identificaram o agente causador da doença, batizada de quitridiomicose, como um fungo do filo Chytridiomycota (BERGER *et al.*, 1998), que foi descrito em 1999 como *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) (LONGCORE; PESSIER; NICHOLS, 1999). O *B. dendrobatidis* pode infectar, além dos anuros, salamandras e cecílias, já tendo sido registrado casos em que ele infecta esses grupos na América do Sul (GOWER *et al.*, 2013; PARROTT *et al.*, 2017).

Esses dois fungos Chytridiomycota têm dois estágios de vida, um móvel caracterizado por zoósporos móveis uniflagelados na sua parte posterior e um fixo caracterizado por esporângios fixos ao substrato com nutrição absorptivo (LONGCORE & SIMMONS, 2012). A estrutura reprodutiva dentro do qual os zoósporos se formam é geralmente o zoosporângio, porém pode também ser um esporo de repouso formado sexualmente ou assexuadamente (LONGCORE & SIMMONS, 2012).

Apesar do amplo registro de *B dendrobatidis* na América do Sul em todas as ordens de anfíbios, não se tem registros de *B. salamandrivorans* neste continente. Entretanto, já foi registrado que o fungo *B. dendrobatidis* tem a capacidade de infectar outros animais além dos anfíbios, sendo encontrado, por exemplo, em lagartos, cobras (KILBURN *et al.*, 2011), crustáceos e peixes (MCMAHON *et al.*, 2013) na natureza. Apesar de não haver registros de que o fungo causou declínios em populações desses outros organismos, alguns deles desenvolvem patologias causadas pelo *B. dendrobatidis*, como é o caso da lagosta *Procambarus alleni*, que sofre recessão das brânquias (MCMAHON *et al.*, 2013). Mesmo que não desenvolvam sintomas, essas espécies podem servir como reservatório do fungo no ambiente, aumentando os riscos, desta maneira, para as populações de anfíbios.

A infecção pelo *B. dendrobatidis* nos anfíbios está presente nas camadas superficiais da epiderme e com a progressão da infecção, desenvolve-se uma hiperqueratose para recuperar o tecido degradado pelo fungo (BERGER *et al.*, 1998). Essa infecção se concentra predominantemente na região posterior do abdômen e nos dedos dos pés, sendo raramente encontrados na parte dorsal do animal (BERGER *et al.*, 2005). A região posterior do abdômen é, muitas vezes, altamente vascularizada, sendo utilizada para absorção de água do substrato, com o qual permanece em contato quando o animal se encontra em repouso (WELLS, 2010).

Além das mudanças na epiderme, os indivíduos infectados podem desenvolver perda de apetite, letargia, perda do reflexo e uma maior descamação da pele (VOYLES *et al.*, 2009). A infecção por Bd também pode provocar uma perda de eletrólitos, que é confirmado pelo fato da suplementação desses pode prolongar a sobrevivência, permitindo uma recuperação (VOYLES *et al.*, 2009). Alterações na função cardíaca (SALLA *et al.*, 2018) e no fígado (SALLA *et al.*, 2020) de anuros também foram registradas. Todas essas consequências da infecção aparecem nas espécies vulneráveis, já que as formas que se apresentam resistentes ao fungo não sofrem com os sintomas da quitridiomicose (BLAUSTEN *et al.*, 2005).

Atualmente, se conhece 5 linhagens diferentes do fungo, mas de início se conheciam apenas 3 linhagens, que foram chamadas de BdGPL a linhagem global mais recente e virulenta (*Global Panzootic Lineage*), BdCAPE que foi descoberta na África do Sul e a BdCH descoberta na Suíça (FARRER *et al.*, 2011). No ano seguinte

foi descoberto uma linhagem no Brasil divergente de todas as outras que foi chamada de BdBrazil (SCHLOEGEL *et al.*, 2012), sendo posteriormente renomeada BdBrazil/BdASIA-2. Em seguida, a linhagem BdASIA-1 foi descoberta e BdCH foi agrupada com ela, acabando com a teoria que era endêmica da Suíça (O'HANLON, *et al.*, 2018) e posteriormente, mais uma linhagem foi descrita como BdASIA-3 (BYRNE *et al.*, 2019).

O Brasil já foi teorizado como sendo o local de origem do fungo, por apresentar endemismo da linhagem BdBrazil/BdASIA-2 uma linhagem basal que apresenta registros em terras brasileiras que vão desde o final do século XIX, sendo o registro mais antigo de 1894 no Rio Grande do Sul (RODRIGUEZ *et al.*, 2014). Entretanto, O'Hanlon *et al.* (2018), sequenciou e comparou genomas de todas as variantes do fungo *B. dendrobatidis*, e chegou na península da Coreia como o seu local de origem e com a linhagem *BdASIA1* sendo considerada a mais ancestral.

Após se espalhar pelo mundo, o fungo quitrídio tem sido o causador do declínio de várias populações de anuros em todos os continentes do planeta (LAMPO, 2008; BOSCH; MARTÍNEZ-SOLANO; GARCÍA-PARÍS, 2001; BERGER *et al.*, 1998; YANG *et al.*, 2009). Então a grande diversidade de anfíbios do Brasil, que possui 1188 espécies (SEGALLA *et al.*, 2021) e com cerca de metade dessas ocorrendo na Mata Atlântica (ROSSA-FERES *et al.*, 2017), faz com que seja muito importante o estudo desse fungo para a conservação de anfíbios.

Com isso em mente, foi realizado um levantamento das publicações que investigaram a ocorrência deste fungo em populações de anfíbios no Brasil, os fungos em hospedeiros coletados no Brasil e como esse assunto é abordado nestas publicações.

2. OBJETIVOS

2.1. Gerais

Fazer uma revisão de literatura sobre os trabalhos envolvendo *B. dendrobatidis* e a quitridiomiose realizados no Brasil, com anfíbios que ocorrem ou foram obtidas no Brasil e analisá-los.

2.2. Específicos

- Levantar o número de artigos e a cronologia

- Mapear as regiões do Brasil em que os trabalhos aconteciam
- Classificar os assuntos dos artigos e compará-los quantitativamente
- Levantar os grupos de anfíbios que aparecem nos estudos

3. METODOLOGIA

As pesquisas foram feitas até 31 de julho de 2021 nos bancos de dados Web of Science, EBSCOhost, Pubmed, SciELO, BioOne e a *Directory of Open Access Journals* (DOAJ) utilizando o operador lógico booleano “AND” nas duas combinações de “*Batrachochytrium dendrobatidis*” com “Brazil” e “*chitridiomycosis*” com “Brazil” e ligando essas duas combinações, o operador booleano “OR”. Como o portal de periódicos da CAPES permite apenas dois campos de pesquisa, foi feita uma pesquisa com as palavras “*Batrachochytrium dendrobatidis*” “AND” “Brazil”. Não foram considerados notícias, notas, cartas e editoriais que eventualmente apareciam nos resultados. A forma de escrita “Brasil” gerava poucos resultados e esses eram duplicados, em alguns bancos de dados não geravam resultados, então foi preferível utilizar “Brazil”.

Foi realizada uma análise exploratória, em que foram eliminados os artigos que não abordavam o fungo *B. dendrobatidis* ou fossem sobre outros grupos de animais que não os anfíbios, artigos repetidos, que não tiveram espécies de anfíbios coletadas no Brasil e em que não houve o fungo quitrídio isolado do Brasil. Cada artigo foi analisado e informações como o local que foi realizado, o ano publicado, as espécies e linhagens envolvidas e a abordagem com o qual o autor pesquisava sobre o *B. dendrobatidis*.

Os artigos selecionados foram divididos em trabalhos com os anfíbios e trabalhos com o fungo, estes últimos subdivididos em trabalhos de biologia molecular e de microbiologia. Os trabalhos com os anfíbios, foram subdivididos em trabalhos com foco na ocorrência do Bd e trabalhos com foco nos efeitos do Bd. Estes últimos incluíram os estudos de animais removidos dos seus habitats, tais como experimentos de comparação da sensibilidade de espécies diferentes, correlação entre deformidades do corpo, fisiologia e comportamento com a presença de Bd. Informações adicionais foram anotadas, tais como a revista onde houve a publicação, as espécies que foram usadas em experimentos, as linhagens do fungo detectadas

ou usadas no trabalho, o ambiente de coleta e também as espécies que registraram casos positivos e negativos para contaminação.

Os trabalhos com foco na ocorrência do Bd foram aqueles envolvendo o habitat dos anfíbios, a presença do fungo em populações que ocorrem no Brasil, o efeito de atividades humanas que afetem os índices de infecções, variantes abióticas que alterem a suscetibilidade dos anfíbios e estudos com assembleia de girinos. Foram analisados o bioma e local de coleta, as espécies estudadas, a presença ou não de fungo no hospedeiro e como o mesmo foi detectado. Para melhor visualização dos locais onde foram desenvolvidas as coletas dos artigos, um mapa de calor por estado foi criado através do site *mapchart*.

De acordo com o levantamento, as espécies que apareceram nos artigos foram contabilizadas e organizadas com as suas respectivas famílias. Entretanto, alguns artigos relataram casos positivos em famílias, mas não especificaram as espécies na publicação, nesse caso não foram incluídos. O número de artigos com girinos e a forma de detecção do fungo nas espécies foram contabilizadas para avaliar os métodos de pesquisa.

Foi feito o cálculo das porcentagens de espécies com registros positivos com o total de espécies nos artigos, o total de espécies por família e assim poder comparar as famílias de anuros. Para evitar que uma mesma espécie aparecesse com mais de um nome, foi seguido Frost (2021) para padronizar as informações do nome da espécie e sua classificação dentro da classe Amphibia.

Os trabalhos com foco no efeito do Bd foram escolhidos com base nos seguintes critérios: espécies que foram coletadas no Brasil, exemplares oriundos de um ambiente natural, de um criadouro ou adquirido de um estabelecimento comercial, mesmo sendo uma espécie invasora ou exótica.

Os estudos com foco em biologia molecular foram considerados como os que dedicaram a sequenciar o fungo, diferenciar as suas linhagens e compará-las. Os trabalhos que usaram linhagens isoladas de hospedeiros nativos do Brasil foram incluídos, pois essas linhagens afetam a fauna brasileira. As linhagens do fungo que os estudos focavam foram quantificadas, os estudos que aconteciam apenas no Brasil e os que faziam comparações com outras partes do mundo foram comparados.

Os estudos com foco em microbiologia foram definidos como publicações com foco no fungo e suas respostas ao meio abiótico ou à microbiota da pele dos sapos. A partir da comparação entre os artigos, foram determinados os gêneros mais promissores de bactérias antiBd.

4. RESULTADOS

4.1. Características gerais do levantamento

No total, foram selecionadas 62 publicações que se relacionavam com *B. dendrobatidis* ou quitridiomycose envolvendo anfíbios no Brasil (Tabela 1, Apêndice A). Esses artigos foram publicados por 31 revistas diferentes, dentre estes, a maior parte foi publicada na revista *Diseases of Aquatic Organisms*, com 17,7% do total de publicações. Em segundo lugar no número de publicações estão a *PloS One* e a *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* tendo cada uma 8% do total, seguidas por *Scientific Reports* e *Fungal Ecology* com 6,4%, *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)* e *Molecular Ecology* com 4,8% e *Hydrobiologia*, *Oecologia* e *Ecology and Evolution* com 3,2% cada uma. Finalmente, as outras 21 revistas ficaram com 1,6%.

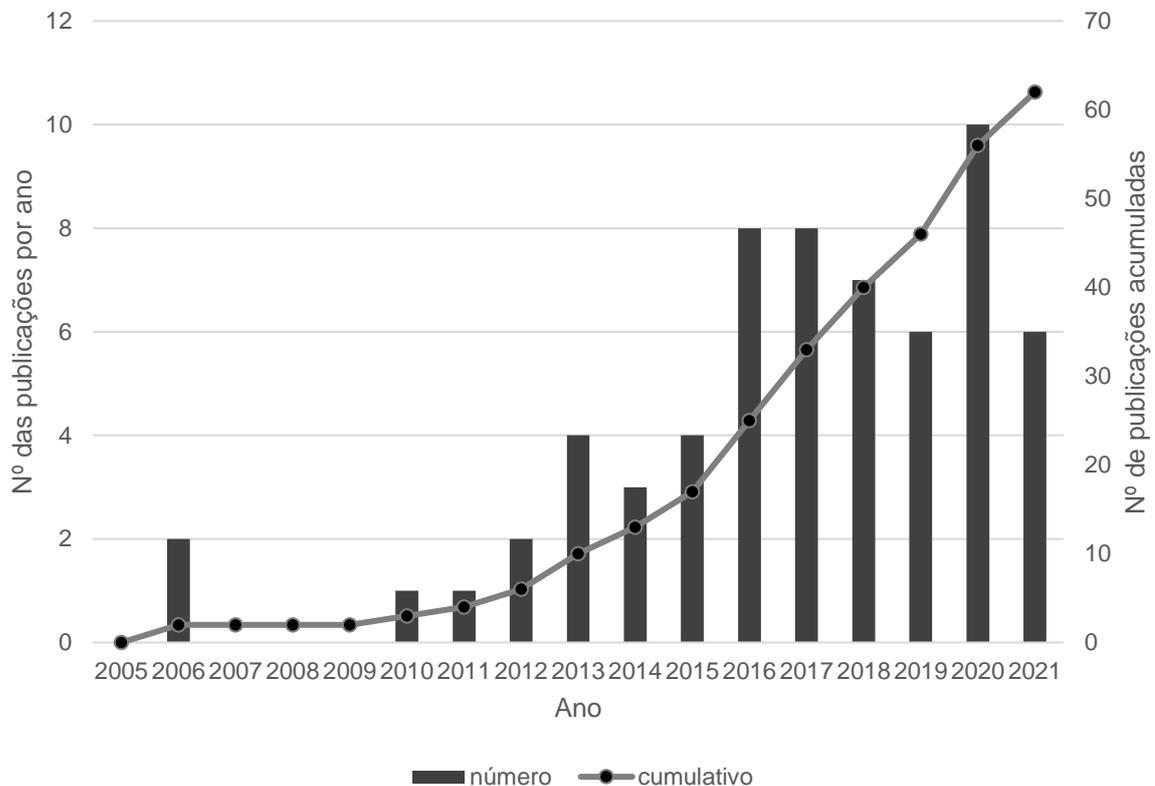
Tabela 1: Artigos publicados sobre Bd no Brasil (citação completa no apêndice A)

Divisão	Categoria	Citação
Trabalhos sobre anfíbio	Foco na ocorrência do Bd	<i>et al.</i> (2006); Toledo <i>et al.</i> (2006); Schloegel <i>et al.</i> (2010); Becker <i>et al.</i> (2011); Gründler <i>et al.</i> (2012); Ramalho <i>et al.</i> (2013); Rodriguez <i>et al.</i> (2014); Valencia-Aguilar <i>et al.</i> (2015); Ruggeri <i>et al.</i> (2015); Becker <i>et al.</i> (2016); Lambertini <i>et al.</i> (2016); Preuss <i>et al.</i> (2016); Becker <i>et al.</i> (2016); Ruano-Fajardo <i>et al.</i> (2016); Valencia-Aguilar <i>et al.</i> (2016); Becker <i>et al.</i> (2017); Carvalho; Becker; Toledo (2017); Forti <i>et al.</i> (2017); Lambertini <i>et al.</i> (2017); Ruggeri <i>et al.</i> (2018); Ruggeri; Toledo; Carvalho-e-Silva (2018); Ribeiro <i>et al.</i> (2019); Amorim <i>et al.</i> (2019); Assis <i>et al.</i> (2020); Ribeiro <i>et al.</i> (2020); Santos <i>et al.</i> (2020); Ernetti <i>et al.</i> (2020); Ruggeri <i>et al.</i> (2020); Ruthsatz <i>et al.</i> (2020); Preuss <i>et al.</i> (2020); Belasen <i>et al.</i> , (2021); Neves-da-Silva <i>et al.</i> , (2021); Lambertini <i>et al.</i> , (2021); Delazeri <i>et al.</i> , (2021); Zornosa-Torres <i>et al.</i> , (2021)
	Foco no efeito do Bd	Vieira <i>et al.</i> (2013); Becker <i>et al.</i> (2014); Hipolito <i>et al.</i> (2014); Salla <i>et al.</i> (2015); Bovo <i>et al.</i> (2016); Mesquita <i>et al.</i> (2017); Navarro-Lozano <i>et al.</i> (2018); Greenspan <i>et al.</i> (2018); Salla <i>et al.</i> (2018); Becker <i>et al.</i> (2019); Salla <i>et al.</i> (2020); Neely <i>et al.</i> (2020); Medina <i>et al.</i> , (2021)
Trabalhos sobre fungo	Foco na biologia molecular	O'Hanlon <i>et al.</i> (2018); Schloegel <i>et al.</i> (2012); Rosenblum <i>et al.</i> (2013); Longo <i>et al.</i> (2013); Coutinho <i>et al.</i> (2015); Jenkinson <i>et al.</i> (2016); Jenkinson <i>et al.</i> (2018); Becker <i>et al.</i> (2017); Byrne <i>et al.</i> (2019); McDonald <i>et al.</i> (2020)
	Foco na microbiologia	Muletz-Wolz <i>et al.</i> (2017); Muletz-Wolz <i>et al.</i> (2019); Voyles <i>et al.</i> (2017); Niederle <i>et al.</i> (2019)

Fonte: dados da pesquisa.

No ano de 2006, 8 anos após a identificação do fungo quitrídio foram publicados os dois primeiros artigos sobre Bd no Brasil (Figura 1), após isso veio um período de 3 anos sem nenhuma publicação, até que 2010 e 2011 apresentaram 1 publicação cada. A partir de 2012 houve um aumento significativo de artigos sobre o assunto por ano. É possível ver uma estabilização no número de artigos nos anos de 2016 e 2017, com sete publicações anuais, sofrendo queda nos 2 anos seguintes até que em 2020 há um aumento para dez publicações, atingindo assim o maior número de publicações por ano registrado (Figura 1). Apesar de ter sido coletado apenas um semestre do ano de 2021, o número de publicações já se equipara aos anos anteriores.

Figura 1: gráfico mostrando o número das publicações por ano e o número de artigos acumulados.



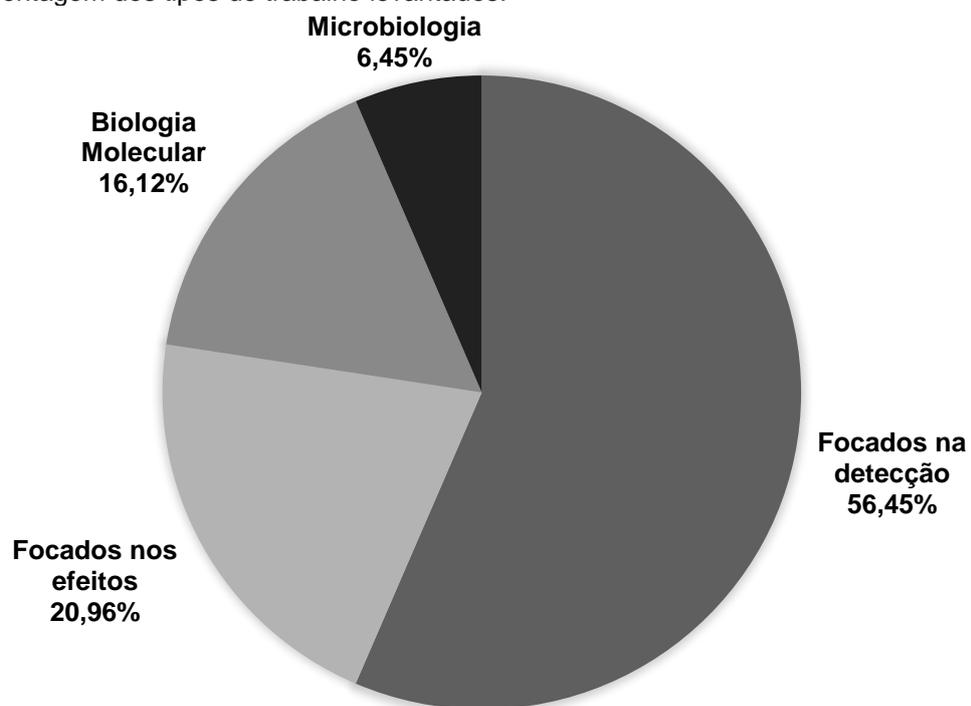
Fonte: elaborada pelo autor.

Entre os artigos publicados, 77,4% tiveram foco no anfíbio hospedeiro, envolvendo estudos sobre como são afetados os indivíduos e populações, quais espécies se infectaram, em qual lugar se registraram os casos, histórico sobre a presença ao testar exemplares preservados, o nível de infecção e como os efeitos abióticos o altera. Os demais artigos (22,5%) foram voltados ao estudo do fungo, envolvendo as diferenças entre as linhagens do *B. dendrobatidis*, incluindo estudos

comparando a virulência das linhagens, estudos sequenciando e comparando linhagens de outros países e estudos envolvendo o microbioma presente na pele dos anfíbios e sua interação com o quitrídio.

Os artigos se dividiram em quatro categorias: biologia molecular, microbiologia, focadas no efeito do Bd e focadas na ocorrência do Bd em anfíbios. Essa última categoria, que envolve os anfíbios afetados pelo parasita na natureza, foi a mais expressiva no número de publicações com 56,45%, pelo grande número de espécies deste grupo do Brasil, principalmente anuros (Figura 2). O restante se dividiu nas demais áreas, em ordem decrescente de números: trabalhos com foco nos efeitos do Bd, trabalhos com foco em biologia molecular e trabalhos microbiológicos envolvendo o fungo e suas interações com bactérias ou variáveis abióticas (Figura 2).

Figura 2: Porcentagem dos tipos de trabalho levantados.

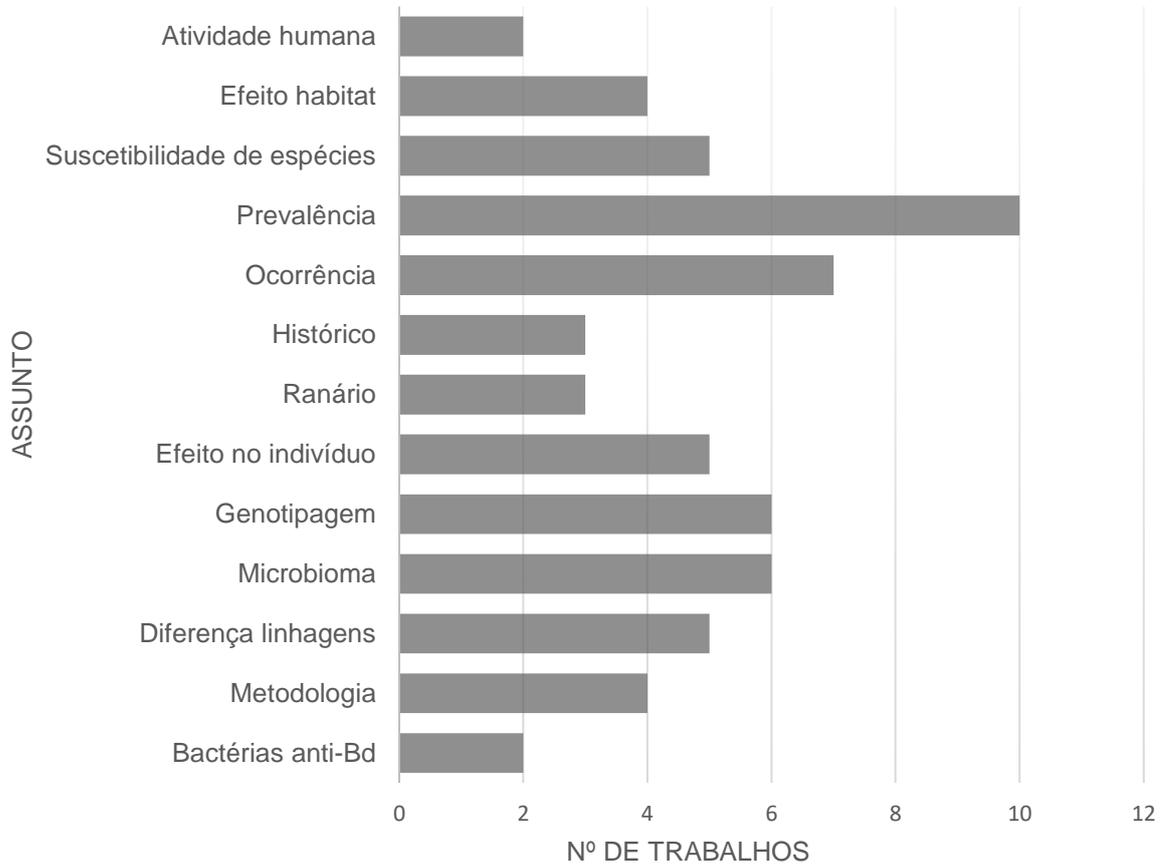


Fonte: dados da pesquisa.

Um total de 23,7% de artigos aborda girinos e, como nesse estágio de vida é possível outros meios de detecção do fungo, apenas 2 trabalhos usaram apenas o método de PCR, com as outras formas de detecção se distribuindo entre histologia, microscopia e desqueratinização das partes bucais, que identificam partes brancas ou deformidades na boca do girino. Em trabalhos em que detecção de

infecção era necessária três quartos dos artigos usaram apenas PCR quantitativo em tempo real.

Figura 3: Gráfico com as abordagens dos estudos sobre o fungo quitrídio



Fonte: elaborado pelo autor.

A figura 3 mostra as abordagens utilizadas para se pesquisar sobre o fungo, a maior é a que se mede a prevalência de um patógeno em uma população. Trabalhos assim também podem medir a intensidade de infecção como também medir variáveis bióticas e abióticas. Se destaca também a ocorrência do fungo em determinado local para registrar novos locais de presença e aumentar o espaço de ação do quitrídio. Outro destaque se dá na genotipagem e o estudo do microbioma da pele dos anuros com ambos 6 trabalhos

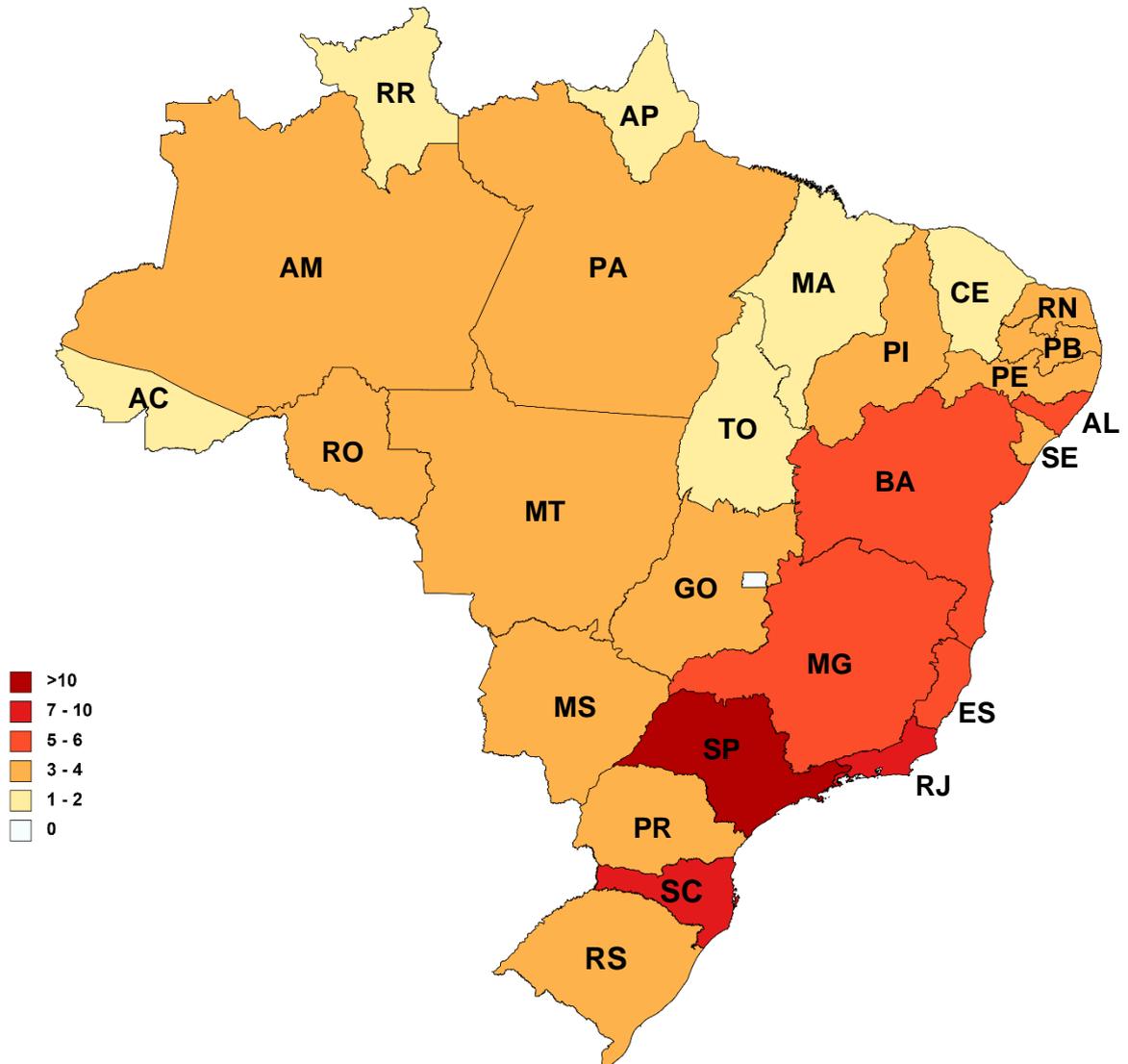
4.2. Publicações com foco em ocorrência do Bd

Foi mapeado o local de desenvolvimento dos trabalhos com foco em ocorrência do Bd dentro do território brasileiro, com 94,2% desses abrangendo áreas da mata atlântica, sendo que em apenas dois deles não houve qualquer ação nesse bioma (RAMALHO *et al.*, 2013; BECKER *et al.*, 2016) e alguns trabalhos abrangeram

mais de um bioma (Figura 3). A Amazônia apareceu em 14,2% dos estudos, seguido do Cerrado com 11,4%, Caatinga com 5,7% e o Pantanal junto com os Pampas com um estudo cada (CARVALHO; BECKER; TOLEDO, 2017).

O estado de São Paulo aparece em 57% do total de publicações do total de artigos de ocorrência de Bd (Figura 3). Os estados de Santa Catarina e do Rio de Janeiro vêm em segundo e terceiro lugar respectivamente como os que apresentaram o maior número de artigos, acompanhados, na ordem decrescente, pelos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia e Alagoas. Os estados onde foram desenvolvidos os menores números de publicações sobre Bd são Tocantins, Maranhão, Amapá, Roraima, Acre e Ceará. Os estados do Ceará e Maranhão foram os estados que não se registraram nenhuma ocorrência nos estudos levantados.

Figura 4: Mapa com o número de publicações sobre Bd no Brasil por Unidade da Federação.



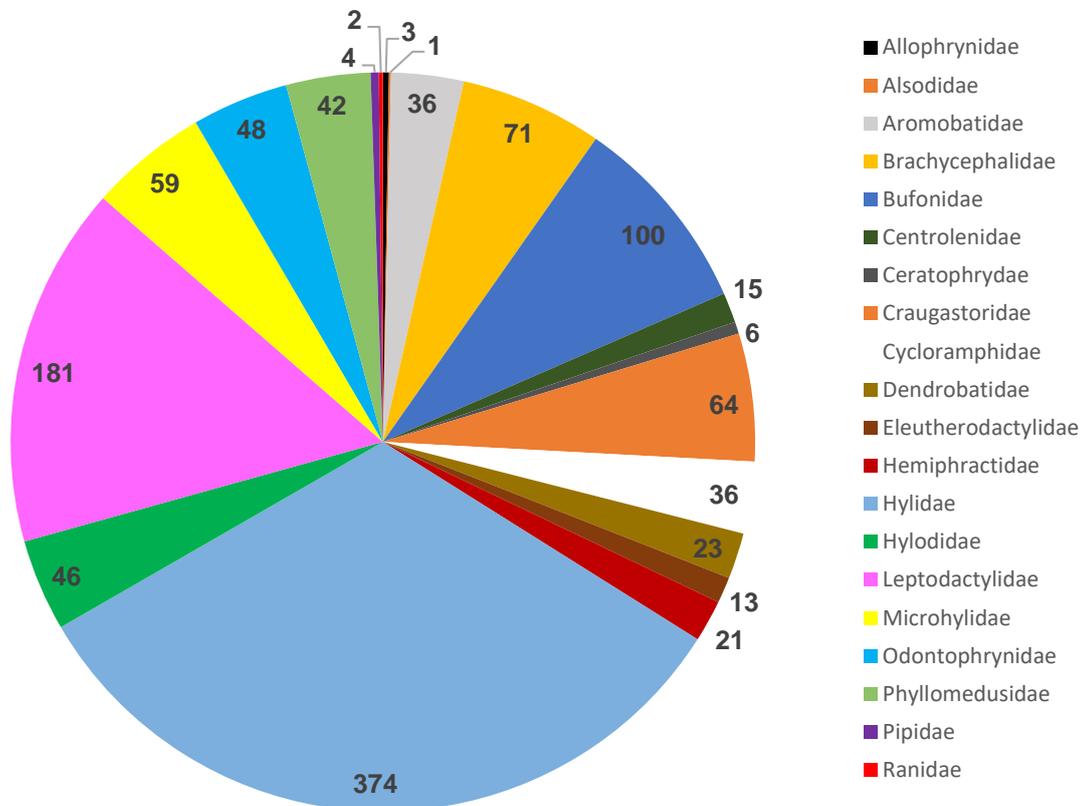
Fonte: elaborado pelo autor em mapchart.net. Siglas: Acre (AC); Alagoas (AL); Amapá (AP); Amazonas (AM); Bahia (BA); Ceará (CE); Espírito Santo (ES); Goiás (GO); Maranhão (MA); Mato Grosso (MT); Mato Grosso do Sul (MS); Minas Gerais (MG); Pará (PA); Paraíba (PB); Paraná (PR); Pernambuco (PE); Piauí (PI); Rio de Janeiro (RJ); Rio Grande do Norte (RN); Rio Grande do Sul (RS); Rondônia (RO); Roraima (RR); Santa Catarina (SC); São Paulo (SP); Sergipe (SE); Tocantins (TO).

Apenas um trabalho sobre cecílias foi achado e nele se relata a distribuição de *B. dendrobatidis* em hospedeiros do grupo Gymnophiona na América do Sul (LAMBERTINI *et al.*, 2017), casos positivos foram confirmados em cecílias das espécies *Potamotyphlus kaupii* e *Typhlonectes compressicauda* pertencente à família Typhlonectidae e as espécies *Siphonops annulatus* e *Luetkenotyphlus brasiliensis* da família Siphonopidae na Mata Atlântica e na Amazônia.

O levantamento mostrou que 194 espécies de anfíbios anuros foram analisadas no total dos trabalhos em campo no Brasil distribuídas em 17 das 20 famílias que ocorrem no Brasil, incluindo também as coletas que apresentaram resultado negativo para a presença do quitrídio. Dessas 17, 13 famílias tiveram resultados positivos para *B. dendrobatidis*. Apenas espécies da família Allophryinae não foram estudadas por nenhum trabalho e apesar de terem sido amostradas, as famílias Michohylidae, Pipidae, Eleutherodactylidae e Centrolenidae não apresentaram espécies que fossem positivas para infecção por Bd. Alsodidae e Ceratophryidae foram estudadas em artigos, mas as espécies não foram citadas na publicação.

A representatividade das famílias de anuros que ocorrem no Brasil está ilustrada na Figura 4. A família Hylidae representa cerca de 32% das espécies do Brasil, seguida pela família Leptodactylidae que tem por volta de 15% e a Bufonidae com 8,7% de representantes. As famílias menos representativas são as famílias Allophryinae, Alsodidae, Pipidae e Ranidae (SEGALLA *et al.*, 2021) (Tabela 1).

Figura 5: Número de espécies por família de anuros ocorrentes no Brasil.



Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Segalla *et al.*, (2021).

Na Tabela 2 pode-se perceber que Hylidae tem uma porcentagem elevada em todas as colunas exceto a terceira. Essa coluna mostra uma porcentagem alta da família Hylodidae, significando que a representação de casos positivos desta família com o total de espécies da família Hylodidae que ocorre no Brasil é maior que Hylidae, a maior em número de espécies ocorrentes no Brasil, então uma porção maior de espécies de Hylodidae foram positivas para Bd. A segunda família com maior porcentagem nas colunas é Leptodactylidae, sendo

É observável na tabela 2 que as famílias apresentaram algumas espécies que apareceram em mais de um artigo, então é possível notar na última coluna (sentido esquerda para direita), que Cycloramphidae, Hylidae, Hylodidae e Phyllomedusidae são as que tem maior porcentagem de espécies com frequência em artigos, pois não apareceram apenas uma vez.

Tabela 2: Representatividade das espécies de anuros em artigos por família sobre Bd.

FAMÍLIA	%E/TE	%EA/T	%E+/TF	%E+/T+	%E+/TA	%E+>1/TF
Aromobatidae	3,14	0,08	2,77	0,63	0,46	0
Brachycephalidae	6,2	0,96	9,85	4,43	3,27	2,77
Bufo	8,74	0,69	7	4,43	3,27	2
Centrolenidae	1,31	0,08	6,66	0,63	0,46	0
Craugastoridae	5,59	0,34	6,25	3,16	1,86	3,12
Cycloramphidae	3,14	0,61	13,88	3,16	2,33	8,33
Dendrobatidae	2,01	0,17	4,34	0,63	0,46	0
Hemiphractidae	1,83	0,34	14,28	1,89	1,4	4,76
Hylidae	32,69	8,04	20,32	48,1	35,51	8,82
Hylodidae	4,02	1,22	30,43	8,86	6,54	8,69
Leptodactylidae	15,82	3,84	13,81	15,82	11,68	3,31
Microhylidae	5,15	0,43	1,69	0,63	0,46	0
Odontophrynidae	4,19	0,43	6,25	1,89	1,4	4,16
Phyllomedusidae	3,67	0,96	23,8	6,32	4,67	9,52
Ranidae	0,17	0,08	50	0,63	0,46	50
Total	97,67	18,27	-	100	74,23	-

Fonte: Presente pesquisa. %E/T: porcentagem do número de espécies de cada família em relação ao número total de espécies do Brasil; %EA/T: porcentagem do número de espécies total nos artigos em relação ao número total de espécies do Brasil; %E+/TF: porcentagem do número de espécies positivas em relação ao número total da família; E+/T+: porcentagem de espécies positivas em

relação ao número total de espécies positivas; %E+/TA: porcentagem do número de espécies positivas em relação ao total de espécies que foram estudadas nos artigos levantados; %E+>1/TF: porcentagem do número de espécies positivas que apareceram em mais de um artigo em relação ao número total da família.

A porcentagem do total de espécies analisadas que apresentaram indivíduos com resultado positivo para o fungo nos artigos é 74,23%, então cerca de um quarto desses foram estudados nos artigos, mas não apresentaram o fungo nas coletas. A distribuição entre famílias é semelhante com a sua proporção de espécies totais na primeira coluna (Tabela 2). Apenas 16% das espécies de anuros que ocorrem no Brasil foram avaliados para a presença de *B. dendrobatidis*.

Na segunda coluna da tabela 2 é possível ver que o total de espécies estudadas são 18,27% do total de espécies e dessas a maioria estão nas famílias Hylidae, Leptodactylidae e Hylodidae que somam 13% desse total. As famílias Phyllomedusidae, Hylidae e Hylodidae também são as que apresentaram maior número de casos positivos nos estudos. Os resultados de Ranidae podem ser explicados por ter uma baixa amostragem pois apenas duas espécies ocorrem no Brasil: *Lithobates palmipes* e *Lithobates catesbeianus*, esta última uma espécie invasora (SEGALLA *et al.*, 2021).

As espécies mais frequentes como positivas no levantamento foram, em ordem decrescente: *Dendropsophus minutus*, *Boana faber*, *Scinax hayii*, *Lithobates catesbeianus*, *Physalaemus cuvieri*, *Hylodes phyllodes* e *Boana albopunctata*.

4.3. Estudos publicados com outros focos

Os trabalhos com focos diferentes da ocorrência do Bd constituem de publicações com o foco nos efeitos do Bd, genéticos e microbiológicos.

As espécies que mais apareceram em artigos relacionados com foco nos efeitos do Bd (Tabela 3), sendo as mais constantes *Dendropsophus minutus*, *Ischnocnema parva* e *Brachycephalus pitanga*. Ainda nessa tabela, temos o modo de vida e a suscetibilidade para o vírus sendo uma constante os anuros terrestres serem mais suscetíveis ao fungo (MESQUITA *et al.*, 2017; BECKER *et al.*, 2019; GREENSPAN *et al.*, 2018; NEELY *et al.*, 2020).

Tabela 3: Espécies de anuros analisadas quanto aos efeitos do Bd com seus níveis de suscetibilidade ao fungo quitrídio e o seu modo de vida

Espécie	Suscetibilidade	Reprodução
<i>Brachycephalus pitanga</i>	3	T
<i>Brachycephalus ephippium</i>	3	T
<i>Ischnocnema parva</i>	3	T
<i>Dendropsophus minutus</i>	1	A
<i>Hylodes phyllodes</i>	2	A
<i>Physalaemus cuvieri</i>	2	A
<i>Xenopus laevis</i> **	1	A
<i>Lithobates catesbeianus</i> *	1	A

Fonte: elaborado pelo autor. *Espécie invasora. **Espécie exótica comercializada. T – Terrestre; RA – Reprodução aquática; SA – Semiaquática; A – Aquática. Suscetibilidade 1 (pouco suscetível) à 3 (muito suscetível).

Foram desenvolvidos, também, estudos comparando espécies de diferentes modos de vida (comparando sua relação com a água) e a reação de mudança dos fatores abióticos. Metade dos artigos comparam espécies de modo reprodutivo terrestre com o modo reprodutivo aquático. Nessa categoria, todos os experimentos foram feitos com animais de São Paulo endêmicos da mata atlântica, exceto 2 experimentos com a *Lithobates catesbeianus* e 2 com *Xenopus laevis*, que são espécies exóticas. Dois estudos compararam a resistência de espécies oriundas do Pantanal, uma região onde a incidência de quitridiomiose é baixa, com espécies de outros lugares (SALLA *et al.*, 2018; SALLA *et al.*, 2020).

Os experimentos em que se contaminava o anuro, eram usadas cepas da linhagem BdGPL, que é a mais virulenta, e mesmo alguns casos que tiveram comparação entre essa linhagem e a BdBrazil/BdASIA-2. Nesses trabalhos, a rã-touro-americana (*Lithobates catesbeianus*) foi usada como uma espécie resistente ao fungo, comparando com espécies endêmicas ou para testar suas respostas fisiológicas.

Por outro lado, no caso dos estudos genéticos, apenas dois deles não tiveram a presença de BdBrazil/BdASIA-2 (ROSENBLUM *et al.*, 2013). Nos trabalhos que incluíram a BdBrazil/BdASIA-2 se analisou, principalmente, a diferença entre essa e outras linhagens e a interação entre os anfíbios com as diferentes linhagens de fungos. Dentre os estudos de genética, mais da metade desses foram feitos com uma

comparação de várias linhagens de outras partes do mundo (SCHLOEGEL *et al.*, 2012; LONGO *et al.*, 2013; ROSENBLUM *et al.*, 2013; BECKER *et al.*, 2017; O'HANLON *et al.*, 2018; BYRNE *et al.*, 2019; MCDONALD *et al.*, 2020).

Os estudos microbiológicos consistiram em investigar a microbiota da pele dos anuros e suas propriedades no combate ao *B. dendrobatidis*, mas um artigo tratou sobre as respostas do fungo a diferentes condições. Houve outros estudos com o microbioma de anuros, porém, como eles avaliaram o meio ambiente em que foram encontrados e compararam com variáveis abióticas, eles foram movidos para a categoria foco na ocorrência do Bd visto que os estudos contidos nessa seção são feitos de um modo que o ambiente é uma variável importante. Bactérias dos gêneros *Pseudomonas* e *Stenotrophomonas* foram identificadas como potenciais probióticos (MULETZ-WOLZ *et al.*, 2017; NIEDERLE *et al.*, 2019).

5. DISCUSSÃO

As 31 revistas que veicularam artigos sobre *B. dendrobatidis* no Brasil são periódicos científicos que publicam trabalhos sobre zoologia, genética, biologia molecular, ecologia, conservação, medicina e ciências agrárias, entre outras. A revista que mais publicou artigos foi *Diseases of Aquatic Organisms*, que é especializada no tema de doenças de animais aquáticos e está na área de Ciências Biológicas e Agrícolas. Entre as revistas com mais publicações se destaca, também, a PLoS ONE pelo qual recente foi fundada (2006).

Os dados obtidos mostram que os estudos sobre o fungo *B. dendrobatidis* ou quitridiomycose em anfíbios no Brasil, começaram atrasados em comparação com o resto do mundo, já que 2006 foram os primeiros artigos realizados no Brasil, 8 anos após a identificação do fungo (BERGER *et al.*, 1998). E mesmo após esse começo, 3 anos se passaram sem nenhum estudo, atrasando ainda mais e só a partir dos anos 2010 a pesquisa sobre o fungo tomou impulso e tem aumentado gradativamente o número de publicações ao longo dos anos.

Esse aumento ocorre apesar do declínio que vem acontecendo no financiamento da ciência do Brasil, que em 2018 foi 47% do orçamento de 2014 (TOLLEFSON, 2019). Além disso, a ciência no Brasil cresceu muito nesses anos em que o fungo quitrídio estava sendo estudado, pois desde o ano 2000 as despesas com

áreas da ciência vinham crescendo no país até atingir o pico em 2014 (GOLSALVES *et al.*, 2019).

Esse aumento no número de publicações se deve à importância da doença na conservação dos anfíbios e o fato da IUCN, (2021) considerar este grupo animal, com 41% das espécies, o mais ameaçado do mundo, além da Mata Atlântica ser um lugar de riquíssima diversidade (ROSSA-FERES *et al.*, 2019). Outro fator importante é o da tecnologia, pois estudos com genética e microbiologia requerem equipamentos para os trabalhos serem feitos e conseqüentemente, um investimento maior, o que aconteceu nos anos 2010 (GONSALVES *et al.*, 2019). Com isso pode-se inferir que a tendência para os próximos anos seria ainda mais crescimento, evidenciado pelo primeiro semestre do ano de 2021 que já igualou o número de publicações de outros anos.

O método usado nos artigos mais numerosos é medindo a prevalência, normalmente acompanhado de intensidade de infecção ou variáveis abióticas, esse tipo de medida é útil pois reflete a pressão que a doença exerce em uma população (NOORDZIJ *et al.*, 2010). Este combinado com a ocorrência, que descobre novas regiões em que a doença está presente e assim novos estudos serem feitos. Outros assuntos importantes estão representados pela investigação de espécies suscetíveis ao fungo, como os anuros que tem desenvolvimento direto (MESQUITA *et al.*, 2017)

Os estudos com foco na ocorrência do Bd no Brasil se concentraram na Mata Atlântica em especial em áreas protegidas do estado de São Paulo, mesmo este sendo o bioma com a menor cobertura vegetal original, a Mata Atlântica continua sendo uma importante área com grande diversidade (IBGE, 2010). Nesse bioma se encontra a maior concentração de estudos sobre *B. dendrobatidis*, sendo que o primeiro trabalho no levantamento foi sobre como o fungo quitrídio estava amplamente distribuído pela Mata Atlântica desde São Paulo até Pernambuco (CARNAVAL *et al.*, 2006). O grande número de artigos com animais da Mata Atlântica explica porque esse bioma tem a maior proporção de casos positivos para o fungo quitrídio quando comparado com os outros biomas brasileiros (CARVALHO; BECKER; TOLEDO, 2017). Apesar disso, o *B. dendrobatidis* é encontrado mesmo em ambientes não favoráveis para o fungo como a Caatinga por causada temperatura (PIOTROWSKI;

ANNIS; LONGCORE, 2004), onde recentemente foi encontrado alta prevalência em populações de *Rhinella* no estado do Piauí (BENÍCIO *et al.*, 2019).

O estado de São Paulo foi sempre o primeiro lugar em investimentos na área da ciência, tendo no ano de 2019, recebido o dobro de investimentos que o estado em segundo lugar (GONSALVES *et al.*, 2019). Além disso, o estado de São Paulo concentra grande parte dos especialistas em anfíbios e a Mata Atlântica apresenta uma excepcional riqueza de anuros. Junto com o grande número de ranários na região, que podem representar uma via de introdução do Bd no ambiente, esses fatos explicariam a alta prevalência de casos de *B. dendrobatidis* na região.

Os trabalhos também englobaram resultados sobre anuros introduzidos no Brasil, como a rã *L. catesbeianus*, que além de ser uma espécie invasora no Brasil, se destaca por ser resistente ao fungo, apresentando baixa prevalência de infecção, baixa carga de infecção e falta de sinais clínicos da doença (ESKEW *et al.*, 2015). A alta incidência dessa rã nos artigos está relacionada à criação de rãs no Brasil presente principalmente no Sudeste do país que de acordo com Oliveira (2015), os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro tem 69% da produção total de rã, seguido de Goiás e Distrito Federal com 24,7%, Santa Catarina com 4,2%, Bahia e Ceará com 1,3%.

Porém, a ideia de que o fungo foi introduzido no Brasil por causa desses ranários não condiz com a realidade, pois Rodriguez *et al.* (2014) detectou *B. dendrobatidis* em um exemplar preservado que data de 1894 do Rio Grande do Sul e as duas linhagens do fungo foram detectadas antes da criação ou comercialização da ranicultura no Brasil, que só teve início em 1935 no Rio de Janeiro pelo canadense Tom Cyrill (SOUSA & MATAROLLO, 2019). Entretanto essa espécie ainda está muito relacionada à quitridiomycose, pois os ranários liberam grande quantidade de zoósporos de *B. dendrobatidis* no ambiente natural em torno dela (RIBEIRO *et al.*, 2019).

Estudos com girinos podem fazer uso de desqueratinização oral como detecção de Bd, porém Navarro-Lozano *et al.* (2018) indicou que este método não deve ser usado como técnica única de diagnóstico, entretanto pode ser utilizado na triagem de espécies que apresentam estes sintomas. Métodos como histologia, histoquímica, microscopia ou análises de PCR são preferíveis para obter um

diagnóstico mais preciso. Mas, apenas 3 artigos utilizaram o método de desqueratinização oral, talvez por ser menos custoso ou menos laborioso.

Não foram registrados aparentes declínios relacionados com o Bd de espécies relacionados ao *B. dendrobatidis* no Brasil desde que os estudos se iniciaram (RODRIGUEZ *et al.*, 2014; JENKINSON *et al.*, 2016), porém isso pode estar relacionado com os declínios massivos nas populações já terem ocorrido no país muito antes de se conhecer o fungo, coincidindo com altas quantidades de girinos infectados coletados e preservados (CARVALHO; BECKER; TOLEDO, 2017). Apesar disso, não se pode descartar riscos do futuro, pois secas foram relacionadas com surtos de quitridiomicose por aumentarem aglomerados de anfíbios nos corpos de água (ADAMS *et al.*, 2017). Além das mudanças climáticas podem gerar uma baixa aptidão para hospedeiros que ocorrem em faixas estreitas de temperatura (NEELY *et al.*, 2020) ou perdas na diversidade que fariam as comunidades de anfíbios ainda mais vulneráveis, pois a alta diversidade de hospedeiros reduz a doença, através do chamado efeito de diluição (BECKER *et al.*, 2014).

Vários estudos sugerem que o risco de doença aumenta em áreas florestadas, apesar do quitrídio persistir através de vários gradientes de floresta natural (RIBEIRO *et al.*, 2020; BECKER & ZAMUDIO, 2011), como também em áreas de elevada altitude (GILLESPIE *et al.*, 2015). Isso aumenta, ainda mais, a necessidade de encontrar soluções alternativas de conservação, como biossegurança ou o desenvolvimento de probióticos, já que a conservação de habitats mantém a presença do patógeno.

As espécies mais afetadas são da família Hylidae, que junto com Leptodactylidae e Hylodidae estão entre as que mais apresentaram espécies com casos positivos e a diversidade de espécies dessas famílias pode explicar o alto número de espécies que apareceram em artigos, pois como são as mais ricas, a probabilidade de serem coletadas é bem maior do que uma espécie rara. Já Hylodidae não apresenta uma riqueza equiparada a essas duas famílias, mas o fato dos hilodídeos estarem altamente associada com a Mata Atlântica (LAIA & ROCHA, 2012) pode influenciar no número pois as coletas ocorreram em um número bastante elevado na Mata Atlântica e possui espécies relativamente tolerantes ao *B. dendrobatidis*, por exemplo *H. phyllodes* (MESQUITA *et al.*, 2017). Além disso, essas três famílias têm

sua biologia reprodutiva ligada à água (LAMBERTINI *et al.*, 2021), onde é maior o risco de contaminação, já que tem uma larva aquática que pode sobreviver até 4 semanas na água (JOHNSON & SPEARE, 2003)

A prevalência e intensidade de infecção do *B. dendrobatidis* varia em função do modo reprodutivo dos anuros, pois as espécies de com fase larval aquática apresentam intensidade maior de infecção (MESQUITA *et al.*, 2017). Já as espécies que têm o desenvolvimento direto apresentam uma baixa prevalência de *B. dendrobatidis* tanto na natureza (MESQUITA *et al.*, 2017) quanto em situações experimentais (BERGER *et al.*, 1998), mostrando, por outro lado, uma baixa resistência à infecção do fungo (MESQUITA *et al.*, 2017).

Os estudos experimentais são bastante importantes pois investigam como um determinado organismo vai reagir a certas situações. Nos trabalhos publicados, foi usada a espécie *X. laevis*, que apesar de ser uma espécie exótica e não ter populações estabelecidas no Brasil (SEGALLA *et al.*, 2021), usar ela em experimentos pode servir como uma comparação e prever possíveis introduções, mas que é vendida no país como rã-albina no mercado *pet* (SALLA *et al.*, 2018). Esse segmento de estudos sobre animais exóticos entra mais em evidência depois que O'Hanlon *et al.* (2018) sugeriu que a expansão de BdGPL no século XX coincidiu com o comércio de anuros no mercado *pet*, alimentício e médico.

O primeiro trabalho relacionado com genética aconteceu no Brasil a partir de 2012, quando Schloegel *et al.* (2012) descobriu a linhagem BdBrazil/Bd ASIA-2 e nesse mesmo período foi o momento em que o número de artigos passou a crescer. Certamente, a descoberta de uma nova linhagem deve ter despertado uma curiosidade e oportunidades de realizar vários estudos com essa linhagem no Brasil, o que foi refletido nos trabalhos com grande presença internacional (ROSENBLUM *et al.*, 2013; LONGO *et al.*, 2013; JENKINSON *et al.*, 2016; JENKINSON *et al.*, 2018; BYRNE *et al.*, 2019; MCDONALD *et al.*, 2020). Estes estudos são muito importantes para melhorar a detecção de patógenos, identificar as linhagens e os híbridos e quais são os que mais se devem prestar atenção pois foram descritos como sendo mais patogênico comparado com outros (O'HANLON *et al.*, 2018; GREENSPAN *et al.*, 2018).

A área da microbiologia está bem promissora, pois abrange estudos sobre o microbioma da pele dos anuros, algo bem promissor como os probióticos, que podem melhorar a sobrevivência de indivíduos mais intolerantes e assim tentar reduzir a da quitridiomycose. Muletz-Wolz *et al.* (2017) e Niederle *et al.*, (2019) descobriram potencial em 2 bactérias: *Pseudomonas* sp. e *Steotrophomonas* sp. que se mostraram fortemente inibitórias de *B. dendrobatidis*.

Essa área do conhecimento pode ser bastante explorada, vide as regiões do Brasil menos exploradas por esse assunto, a Caatinga, o Cerrado, Amazônia e mesmo áreas da Mata Atlântica fora do sudeste do Brasil contém lacunas no conhecimento para serem preenchidas. Apesar de ser representado na bibliografia, o impacto dos ranários ainda continua pouco explorado se comparado com trabalhos avaliando a prevalência e intensidade. A avaliação bibliográfica feita demonstra estudos focados nestes temas e seu efeitos nas populações de anfíbios.

6. CONCLUSÃO

A pesquisa nos bancos de dados resultou em um resultado satisfatório para um assunto relativamente que veio surgir há 23 anos, com artigos de várias áreas, metodologias e lugares. Agora o próximo passo é expandir o que sabemos como guia as lacunas demonstradas nesse estudo.

Apesar da quantidade de publicações ter aumentado nos últimos anos, o número de trabalhos ainda é pouco proporcional entre as áreas se comparado com a enorme diversidade dos anfíbios do Brasil. Muitas espécies apresentam registros de infecção, mas a região onde ocorrem é pouco estudada, como as cecílias e os anuros com reprodução direta, que devem ser melhor investigados pela alta sensibilidade à infecção e por apresentarem seus próprios fenômenos em relação a como são afetadas pelo fungo.

A grande concentração de trabalhos se dá principalmente pelos esforços dos cientistas do Brasil por expandir o conhecimento sobre esse assunto que afeta a fauna brasileira há bem mais tempo do que todos já imaginariam. Os estudos já publicados podem ser replicados em outras partes do país em que se identificaram presença de fungo mas carecem de conhecimento e através deste trabalho é possível

verificar que os estados e as regiões que mais carecem de estudos sobre o *B. dendrobatidis* estão concentrados no Norte e Nordeste do Brasil.

A família de anuros Hylidae é a que apresenta o maior número de espécies investigadas nos trabalhos por ser a que apresenta a maior riqueza de espécies e estar associada a corpos de água. Famílias com modo reprodutivo direto devem ser especialmente estudadas em seu ambiente natural pois apresentam maior suscetibilidade para o fungo.

A área microbiológica apresenta perspectivas de produtos probióticos ainda no horizonte apesar da evidente carência de pesquisas com foco em microbiologia, que apenas começou. Por isso, esse tema deve ser mais explorado para criar mais estratégias de conservação contra o fungo quitrídio.

O declínio dos anfíbios é grave e bem evidente, por isso cada vez mais é necessário o aumento de estudos focados em grupos de anfíbios, antes do seu desaparecimento e apesar do Brasil já lidar com o fungo há muito tempo, efeitos externos como o das mudanças climáticas ou poluição podem afetar as comunidades e assim expor os anfíbios ao fungo e causar quedas de população.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, A. J. *et al.* Extreme drought, host density, sex, and bullfrogs influence fungal pathogen infection in a declining lotic amphibian. **Ecosphere**, v. 8, n. 3, p. e01740, 2017.
- BARINAGA, M. Where have all the froggies gone?. **Science**, v. 247, n. 4946, p. 1033-1035, 1990.
- BECKER, C. G. *et al.* Historical dynamics of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Amazonia. **Ecography**, v. 39, n. 10, p. 954-960, 2016.
- BECKER, C. G. *et al.* Partitioning the net effect of host diversity on an emerging amphibian pathogen. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1795, p. 20141796, 2014.
- BECKER, C. G. *et al.* Variation in phenotype and virulence among enzootic and panzootic amphibian chytrid lineages. **Fungal Ecology**, v. 26, p. 45-50, 2017.
- BECKER, C. G.; ZAMUDIO, K. R. Tropical amphibian populations experience higher disease risk in natural habitats. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 24, p. 9893-9898, 2011.

- BECKER, C. G. *et al.* Low-load pathogen spillover predicts shifts in skin microbiome and survival of a terrestrial-breeding amphibian. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 286, n. 1908, p. 20191114, 2019.
- BENÍCIO, R. A. *et al.* Worrying News for Brazilian Caatinga: Prevalence of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Amphibians. **Tropical Conservation Science**, v. 12, p. 1940082919892626, 2019.
- BERGER, L. *et al.* Chytridiomycosis causes amphibian mortality associated with population declines in the rain forests of Australia and Central America. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 95, n. 15, p. 9031-9036, 1998.
- BERGER, L.; SPEARE, R.; SKERRATT, L. F. Distribution of *Batrachochytrium dendrobatidis* and pathology in the skin of green tree frogs *Litoria caerulea* with severe chytridiomycosis. **Diseases of aquatic organisms**, v. 68, n. 1, p. 65-70, 2005.
- BOSCH, J.; MARTÍNEZ-SOLANO, I.; GARCÍA-PARÍS, M. Evidence of a chytrid fungus infection involved in the decline of the common midwife toad (*Alytes obstetricans*) in protected areas of central Spain. **Biological conservation**, v. 97, n. 3, p. 331-337, 2001.
- BRIGGS, C. J.; KNAPP, R. A.; VREDENBURG, V. T. Enzootic and epizootic dynamics of the chytrid fungal pathogen of amphibians. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 21, p. 9695-9700, 2010.
- BYRNE, A. Q. *et al.* Cryptic diversity of a widespread global pathogen reveals expanded threats to amphibian conservation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 41, p. 20382-20387, 2019.
- CARNAVAL, A. C. O. Q. *et al.* Amphibian chytrid fungus broadly distributed in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **EcoHealth**, v. 3, n. 1, p. 41-48, 2006.
- CARVALHO, T.; BECKER, C. G.; TOLEDO, L. F. Historical amphibian declines and extinctions in Brazil linked to chytridiomycosis. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n. 1848, p. 20162254, 2017.
- CEBALLOS, G. *et al.* Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. **Science advances**, 2015.
- DEMARCHI, J. A. *et al.* Tadpole food consumption decreases with increasing *Batrachochytrium dendrobatidis* infection intensity. **Journal of Herpetology**, v. 49, n. 3, p. 395-398, 2015.
- DOBSON, A. *et al.* Habitat loss, trophic collapse, and the decline of ecosystem services. **Ecology**, v. 87, n. 8, p. 1915-1924, 2006.

- ESKEW, E. A. *et al.* American bullfrogs (*Lithobates catesbeianus*) resist infection by multiple isolates of *Batrachochytrium dendrobatidis*, including one implicated in wild mass mortality. **EcoHealth**, v. 12, n. 3, p. 513-518, 2015.
- FARRER, R. A. *et al.* Multiple emergences of genetically diverse amphibian-infecting chytrids include a globalized hypervirulent recombinant lineage. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 46, p. 18732-18736, 2011.
- FROST, D. R. 2021. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Versão 6.1. Disponível em: <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. Acesso em: 10 julho 2021.
- GARNER, T. W. J. *et al.* The world congress of herpetology and animal conservation: Excerpts from the 6th world congress. **Animal Conservation**, v. 13, n. s1, p. 1-2, 2010.
- GILLESPIE, G. R. *et al.* Rapid decline and extinction of a montane frog population in southern Australia follows detection of the amphibian pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis*. **Animal Conservation**, v. 18, n. 3, p. 295-302, 2015.
- GONSALVES, C. R. C. *et al.* Indicadores nacionais de ciência, tecnologia e inovação: 2019. 2019.
- GOWER, D. J. *et al.* *Batrachochytrium dendrobatidis* infection and lethal chytridiomycosis in caecilian amphibians (Gymnophiona). **EcoHealth**, v. 10, n. 2, p. 173-183, 2013.
- GREENSPAN, S. E. *et al.* Hybrids of amphibian chytrid show high virulence in native hosts. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2018.
- HEDGES, S. B. Global amphibian declines: a perspective from the Caribbean. **Biodiversity & Conservation**, v. 2, n. 3, p. 290-303, 1993.
- HEYER, W. R. *et al.* Decimations, extinctions, and colonizations of frog populations in southeast Brazil and their evolutionary implications. **Biotropica**, p. 230-235, 1988.
- IBGE. **Atlas nacional do Brasil Milton Santos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/. Acesso em: 14 março 2021.
- IUCN 2021. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Versão 2021-1. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>. Acesso em 10 agosto 2021.
- JOHNSON, M. L.; SPEARE, R. Survival of *Batrachochytrium dendrobatidis* in water: quarantine and disease control implications. **Emerging infectious diseases**, v. 9, n. 8, p. 922, 2003.
- KEESING, F. *et al.* Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. **Nature**, v. 468, n. 7324, p. 647-652, 2010.

KILBURN, V. L.; IBÁÑEZ, R.; GREEN, D. M. Reptiles as potential vectors and hosts of the amphibian pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* in Panama. **Diseases of aquatic organisms**, v. 97, n. 2, p. 127-134, 2011.

LAMBERTINI, C. *et al.* Spatial distribution of *Batrachochytrium dendrobatidis* in South American caecilians. **Diseases of aquatic organisms**, v. 124, n. 2, p. 109-116, 2017.

LAMBERTINI, C. *et al.* Biotic and abiotic determinants of *Batrachochytrium dendrobatidis* infections in amphibians of the Brazilian Atlantic Forest. **Fungal Ecology**, v. 49, p. 100995, 2021.

LAMPO, M.; SANCHEZ, D.; MÁRQUEZ, M. *Batrachochytrium dendrobatidis* in Venezuela. **Herpetological Review**, v. 39, n. 4, p. 449, 2008.

LAIA, R. C.; ROCHA, C. F. D. Adults and tadpoles of species of Hylodidae (Anura): History and taxonomy perspectives. **Zoologia (Curitiba)**, v. 29, p. 89-94, 2012.

LONGCORE, J. E.; PESSIER, A. P.; NICHOLS, D. K. *Batrachochytrium dendrobatidis* gen. et sp. nov., a chytrid pathogenic to amphibians. **Mycologia**, v. 91, n. 2, p. 219-227, 1999.

LONGCORE, J. E.; SIMMONS, D. R. Chytridiomycota. **eLS**, p. 1-9, 2012.

LONGO, A. V. *et al.* ITS1 copy number varies among *Batrachochytrium dendrobatidis* strains: implications for qPCR estimates of infection intensity from field-collected amphibian skin swabs. **PLoS One**, v. 8, n. 3, p. e59499, 2013.

MARANTELLI, G. *et al.* Distribution of the amphibian chytrid *Batrachochytrium dendrobatidis* and keratin during tadpole development. **Pacific Conservation Biology**, v. 10, n. 3, p. 173-179, 2004.

MCDONALD, C. A. *et al.* Gene expression varies within and between enzootic and epizootic lineages of *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) in the Americas. **Fungal biology**, v. 124, n. 1, p. 34-43, 2020.

MCMAHON, T. A. *et al.* Chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* has nonamphibian hosts and releases chemicals that cause pathology in the absence of infection. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 1, p. 210-215, 2013.

MCNEELY, J. Invasive species: a costly catastrophe for native biodiversity. **Land Use and Water Resources Research**, v. 1, n. 1732-2016-140260, 2001.

MESQUITA, A. F. C. *et al.* Low resistance to chytridiomycosis in direct-developing amphibians. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2017.

- MULETZ-WOLZ, C. R. *et al.* Diverse genotypes of the amphibian-killing fungus produce distinct phenotypes through plastic responses to temperature. **Journal of evolutionary biology**, v. 32, n. 3, p. 287-298, 2019.
- MULETZ-WOLZ, C. R. *et al.* Inhibition of fungal pathogens across genotypes and temperatures by amphibian skin bacteria. **Frontiers in microbiology**, v. 8, p. 1551, 2017.
- NAVARRO-LOZANO, A. *et al.* Are oral deformities in tadpoles accurate indicators of anuran chytridiomycosis?. **Plos One**, v. 13, n. 1, p. e0190955, 2018.
- NEELY, W. J. *et al.* Synergistic effects of warming and disease linked to high mortality in cool-adapted terrestrial frogs. **Biological Conservation**, v. 245, p. 108521, 2020.
- NIEDERLE, M. V. *et al.* Skin-associated lactic acid bacteria from North American bullfrogs as potential control agents of *Batrachochytrium dendrobatidis*. **Plos one**, v. 14, n. 9, p. e0223020, 2019.
- NOORDZIJ, M. *et al.* Measures of disease frequency: prevalence and incidence. **Nephron Clinical Practice**, v. 115, n. 1, p. c17-c20, 2010.
- O'HANLON, S. J. *et al.* Recent Asian origin of chytrid fungi causing global amphibian declines. **Science**, v. 360, n. 6389, p. 621-627, 2018.
- OLIVEIRA, E. G. Ranicultura: Novos desafios e perspectivas do mercado. **Ciência Animal**, v. 25, n. 1, p. 173-186, 2015.
- PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**, v. 421, n. 6918, p. 37-42, 2003.
- PARROTT, J. C. *et al.* Survey of pathogenic chytrid fungi (*Batrachochytrium dendrobatidis* and *B. salamandrivorans*) in salamanders from three mountain ranges in Europe and the Americas. **EcoHealth**, v. 14, n. 2, p. 296-302, 2017.
- PIOTROWSKI, J. S.; ANNIS, S. L.; LONGCORE, J. E. Physiology of *Batrachochytrium dendrobatidis*, a chytrid pathogen of amphibians. **Mycologia**, v. 96, n. 1, p. 9-15, 2004.
- RIBEIRO, J. W. *et al.* Assessing amphibian disease risk across tropical streams while accounting for imperfect pathogen detection. **Oecologia**, v. 193, n. 1, p. 237-248, 2020.
- RIBEIRO, L. P. *et al.* Bullfrog farms release virulent zoospores of the frog-killing fungus into the natural environment. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2019.
- RODRIGUEZ, D. *et al.* Long-term endemism of two highly divergent lineages of the amphibian-killing fungus in the Atlantic Forest of Brazil. **Molecular Ecology**, v. 23, n. 4, p. 774-787, 2014.

ROSENBLUM, E. B. *et al.* Complex history of the amphibian-killing chytrid fungus revealed with genome resequencing data. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 23, p. 9385-9390, 2013.

ROSSA-FERES, D. C. *et al.* Anfíbios da Mata Atlântica: lista de espécies, histórico dos estudos, biologia e conservação. **Revisões em Zoologia: Mata Atlântica**, p. 237-314, 2017.

SALLA, R. F. *et al.* Differential liver histopathological responses to amphibian chytrid infection. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 142, p. 177-187, 2020.

SALLA, R. F. *et al.* Novel findings on the impact of chytridiomycosis on the cardiac function of anurans: sensitive vs. tolerant species. **PeerJ**, v. 6, p. e5891, 2018.

SCHLOEGEL, L. M. *et al.* Novel, panzootic and hybrid genotypes of amphibian chytridiomycosis associated with the bullfrog trade. **Molecular ecology**, v. 21, n. 21, p. 5162-5177, 2012.

SEGALLA, M. V. *et al.* List of Brazilian amphibians. **Herpetologia Brasileira**, v. 10, n. 1, p. 121-217, 2021.

SHERMAN, C. K.; MORTON, M. L. Population declines of Yosemite toads in the eastern Sierra Nevada of California. **Journal of Herpetology**, p. 186-198, 1993.

SOUSA, R. G. C.; MALTAROLO, R. C. Distribuição geográfica e caracterização da produção de rã-touro *Lithobates catesbeianus* no estado de Rondônia (Brasil). **DESAFIOS-Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, v. 6, n. 1, p. 45-53, 2019.

TOLLEFSON, J. 'Tropical Trump' sparks unprecedented crisis for Brazilian science. **Nature**, v. 572, n. 7768, p. 161-163, 2019.

VENESKY, M. D.; PARRIS, M. J.; STORFER, A. Impacts of *Batrachochytrium dendrobatidis* infection on tadpole foraging performance. **EcoHealth**, v. 6, n. 4, p. 565-575, 2009.

VOYLES, J. *et al.* Diversity in growth patterns among strains of the lethal fungal pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* across extended thermal optima. **Oecologia**, v. 184, n. 2, p. 363-373, 2017.

WELLS, K. D. **The ecology and behavior of amphibians**. University of Chicago Press, 2010.

YANG, H. *et al.* First detection of the amphibian chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* in free-ranging populations of amphibians on mainland Asia: survey in South Korea. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 86, n. 1, p. 9-13, 2009.

APÊNDICE A – Lista das Referências dos artigos levantados

- AMORIM, F. O. *et al.* New records of *Batrachochytrium dendrobatidis* in the state of Bahia, Brazil: histological analysis in anuran amphibian collections. **Diseases of aquatic organisms**, v. 136, n. 2, p. 147-155, 2019.
- ASSIS, A. B. *et al.* Environmental influences on and antimicrobial activity of the skin microbiota of *Proceratophrys boiei* (Amphibia, Anura) across forest fragments. **Ecology and evolution**, v. 10, n. 2, p. 901-913, 2020.
- BECKER, C. G. *et al.* Deforestation, host community structure, and amphibian disease risk. **Basic and applied ecology**, v. 17, n. 1, p. 72-80, 2016.
- BECKER, C. G. *et al.* Historical dynamics of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Amazonia. **Ecography**, v. 39, n. 10, p. 954-960, 2016.
- BECKER, C. G. *et al.* Land cover and forest connectivity alter the interactions among host, pathogen and skin microbiome. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n. 1861, p. 20170582, 2017.
- BECKER, C. G. *et al.* Low-load pathogen spillover predicts shifts in skin microbiome and survival of a terrestrial-breeding amphibian. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 286, n. 1908, p. 20191114, 2019.
- BECKER, C. G. *et al.* Partitioning the net effect of host diversity on an emerging amphibian pathogen. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1795, p. 20141796, 2014.
- BECKER, C. G. *et al.* Variation in phenotype and virulence among enzootic and panzootic amphibian chytrid lineages. **Fungal Ecology**, v. 26, p. 45-50, 2017.
- BECKER, C. G.; ZAMUDIO, K. R. Tropical amphibian populations experience higher disease risk in natural habitats. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 24, p. 9893-9898, 2011.
- BELASEN, A. M. *et al.* Geography, Host Genetics, and Cross-Domain Microbial Networks Structure the Skin Microbiota of Fragmented Brazilian Atlantic Forest Frog Populations. **Ecology and Evolution**, 2021.

BOVO, R. P. *et al.* Physiological responses of Brazilian amphibians to an enzootic infection of the chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis*. **Diseases of aquatic organisms**, v. 117, n. 3, p. 245-252, 2016.

BYRNE, A. Q. *et al.* Cryptic diversity of a widespread global pathogen reveals expanded threats to amphibian conservation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 41, p. 20382-20387, 2019.

CARNAVAL, A. C. O. Q. *et al.* Amphibian chytrid fungus broadly distributed in the Brazilian Atlantic Rain Forest. **EcoHealth**, v. 3, n. 1, p. 41-48, 2006.

CARVALHO, T.; BECKER, C. G.; TOLEDO, L. F. Historical amphibian declines and extinctions in Brazil linked to chytridiomycosis. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n. 1848, p. 20162254, 2017.

COUTINHO, S. D. *et al.* The use of singleplex and nested PCR to detect *Batrachochytrium dendrobatidis* in free-living frogs. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 46, p. 551-555, 2015.

DELAZERI, F. *et al.* Forest cover influences chytrid infections in populations of *Boana curupi*, a threatened treefrog of south Brazil. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 144, p. 133-142, 2021.

ERNETTI, J. R. *et al.* High temporal and individual variation in the prevalence and intensity of chytrid infection in the southernmost Leaf Frog of the genus *Pithecopus* (Anura, Phyllomedusidae). **Hydrobiologia**, v. 847, n. 16, p. 3355-3364, 2020.

FORTI, L. R. *et al.* Perspectives on invasive amphibians in Brazil. **PloS One**, v. 12, n. 9, p. e0184703, 2017.

GREENSPAN, S. E. *et al.* Hybrids of amphibian chytrid show high virulence in native hosts. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2018.

GRÜNDLER, M. C. *et al.* Interaction between breeding habitat and elevation affects prevalence but not infection intensity of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Brazilian anuran assemblages. **Diseases of aquatic organisms**, v. 97, n. 3, p. 173-184, 2012.

HIPOLITO, M. *et al.* Use of historesin for viewing *Batrachochytrium dendrobatidis* in the mouth of *Lithobates catesbeianus* tadpoles (*Rana catesbeiana* Shaw, 1802), bullfrog. **Aquaculture**, v. 431, p. 107-110, 2014.

JENKINSON, T. S. *et al.* Amphibian-killing chytrid in Brazil comprises both locally endemic and globally expanding populations. **Molecular ecology**, v. 25, n. 13, p. 2978-2996, 2016.

JENKINSON, T. S. *et al.* Globally invasive genotypes of the amphibian chytrid outcompete an enzootic lineage in coinfections. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 285, n. 1893, p. 20181894, 2018.

LAMBERTINI, C. *et al.* Biotic and abiotic determinants of *Batrachochytrium dendrobatidis* infections in amphibians of the Brazilian Atlantic Forest. **Fungal Ecology**, v. 49, p. 100995, 2021.

LAMBERTINI, C. *et al.* Local phenotypic variation in amphibian-killing fungus predicts infection dynamics. **Fungal Ecology**, v. 20, p. 15-21, 2016.

LAMBERTINI, C. *et al.* Spatial distribution of *Batrachochytrium dendrobatidis* in South American caecilians. **Diseases of aquatic organisms**, v. 124, n. 2, p. 109-116, 2017.

LONGO, A. V. *et al.* ITS1 copy number varies among *Batrachochytrium dendrobatidis* strains: implications for qPCR estimates of infection intensity from field-collected amphibian skin swabs. **PLoS One**, v. 8, n. 3, p. e59499, 2013.

MCDONALD, C. A. *et al.* Gene expression varies within and between enzootic and epizootic lineages of *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) in the Americas. **Fungal biology**, v. 124, n. 1, p. 34-43, 2020.

MEDINA, D. *et al.* Co-infecting pathogen lineages have additive effects on host bacterial communities. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 97, n. 4, p. fiab030, 2021.

MESQUITA, A. F. C. *et al.* Low resistance to chytridiomycosis in direct-developing amphibians. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2017.

MULETZ-WOLZ, C. R. *et al.* Diverse genotypes of the amphibian-killing fungus produce distinct phenotypes through plastic responses to temperature. **Journal of evolutionary biology**, v. 32, n. 3, p. 287-298, 2019.

MULETZ-WOLZ, C. R. *et al.* Inhibition of fungal pathogens across genotypes and temperatures by amphibian skin bacteria. **Frontiers in microbiology**, v. 8, p. 1551, 2017.

NAVARRO-LOZANO, A. *et al.* Are oral deformities in tadpoles accurate indicators of anuran chytridiomycosis?. **PloS One**, v. 13, n. 1, p. e0190955, 2018.

NEELY, W. J. *et al.* Synergistic effects of warming and disease linked to high mortality in cool-adapted terrestrial frogs. **Biological Conservation**, v. 245, p. 108521, 2020.

NEVES-DA-SILVA, D. *et al.* Effects of intrinsic and extrinsic factors on the prevalence of the fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* (Chytridiomycota) in stream tadpoles in the Atlantic Forest domain. **Aquatic Ecology**, p. 1-12, 2021.

NIEDERLE, M. V. *et al.* Skin-associated lactic acid bacteria from North American bullfrogs as potential control agents of *Batrachochytrium dendrobatidis*. **PloS One**, v. 14, n. 9, p. e0223020, 2019.

O'HANLON, S. J. *et al.* Recent Asian origin of chytrid fungi causing global amphibian declines. **Science**, v. 360, n. 6389, p. 621-627, 2018.

PREUSS, J. F. *et al.* Crossing the threshold: an amphibian assemblage highly infected with *Batrachochytrium dendrobatidis* in the southern Brazilian Atlantic forest. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 51, n. 1, p. 68-77, 2016.

PREUSS, J. F. *et al.* Widespread pig farming practice linked to shifts in skin microbiomes and disease in pond-breeding amphibians. **Environmental Science & Technology**, v. 54, n. 18, p. 11301-11312, 2020.

RAMALHO, A. C. O. *et al.* First record of *Batrachochytrium dendrobatidis* in two endemic Cerrado hylids, *Bokermannohyla pseudopseudis* and *Bokermannohyla sapiranga*, with comments on chytridiomycosis spreading in Brazil. **North West. J. Zool**, v. 9, p. 145-150, 2013.

RIBEIRO, J. W. *et al.* Assessing amphibian disease risk across tropical streams while accounting for imperfect pathogen detection. **Oecologia**, v. 193, n. 1, p. 237-248, 2020.

- RIBEIRO, L. P. *et al.* Bullfrog farms release virulent zoospores of the frog-killing fungus into the natural environment. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2019.
- RODRIGUEZ, D. *et al.* Long-term endemism of two highly divergent lineages of the amphibian-killing fungus in the Atlantic Forest of Brazil. **Molecular Ecology**, v. 23, n. 4, p. 774-787, 2014.
- ROSENBLUM, E. B. *et al.* Complex history of the amphibian-killing chytrid fungus revealed with genome resequencing data. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 23, p. 9385-9390, 2013.
- RUANO-FAJARDO, G.; TOLEDO, L. F.; MOTT, T. Jumping into a trap: high prevalence of chytrid fungus in the preferred microhabitats of a bromeliad-specialist frog. **Diseases of aquatic Organisms**, v. 121, n. 3, p. 223-232, 2016.
- RUGGERI, J. *et al.* Amphibian chytrid infection is influenced by rainfall seasonality and water availability. **Diseases of aquatic organisms**, v. 127, n. 2, p. 107-115, 2018.
- RUGGERI, J. *et al.* Seasonal prevalence of the amphibian chytrid in a tropical pond-dwelling tadpole species. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 142, p. 171-176, 2020.
- RUGGERI, J. *et al.* Seasonal variation in population abundance and chytrid infection in stream-dwelling frogs of the Brazilian Atlantic forest. **PloS one**, v. 10, n. 7, p. e0130554, 2015.
- RUGGERI, J.; TOLEDO, L. F.; CARVALHO-E-SILVA, S. P. Stream tadpoles present high prevalence but low infection loads of *Batrachochytrium dendrobatidis* (Chytridiomycota). **Hydrobiologia**, v. 806, n. 1, p. 303-311, 2018.
- RUTHSATZ, K. *et al.* Skin microbiome correlates with bioclimate and *Batrachochytrium dendrobatidis* infection intensity in Brazil's Atlantic Forest treefrogs. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-15, 2020.
- SALLA, R. F. *et al.* Cardiac adaptations of bullfrog tadpoles in response to chytrid infection. **Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology**, v. 323, n. 7, p. 487-496, 2015.
- SALLA, R. F. *et al.* Differential liver histopathological responses to amphibian chytrid infection. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 142, p. 177-187, 2020.

SALLA, R. F. *et al.* Novel findings on the impact of chytridiomycosis on the cardiac function of anurans: sensitive vs. tolerant species. **PeerJ**, v. 6, p. e5891, 2018.

SANTOS, R. C. *et al.* High prevalence and low intensity of infection by *Batrachochytrium dendrobatidis* in rainforest bullfrog populations in southern Brazil. **Herpetological Conservation and Biology**, v. 15, n. 1, p. 118-130, 2020.

SCHLOEGEL, L. M. *et al.* Novel, panzootic and hybrid genotypes of amphibian chytridiomycosis associated with the bullfrog trade. **Molecular ecology**, v. 21, n. 21, p. 5162-5177, 2012.

SCHLOEGEL, L. M. *et al.* The North American bullfrog as a reservoir for the spread of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Brazil. **Animal Conservation**, v. 13, p. 53-61, 2010.

TOLEDO, L. F. *et al.* The occurrence of *Batrachochytrium dendrobatidis* in Brazil and the inclusion of 17 new cases of infection. **South American Journal of Herpetology**, v. 1, n. 3, p. 185-191, 2006.

VALENCIA-AGUILAR, A. *et al.* Chytrid fungus acts as a generalist pathogen infecting species-rich amphibian families in Brazilian rainforests. **Diseases of aquatic organisms**, v. 114, n. 1, p. 61-67, 2015.

VALENCIA-AGUILAR, A. *et al.* Seasonality, environmental factors, and host behavior linked to disease risk in stream-dwelling tadpoles. **Herpetologica**, v. 72, n. 2, p. 98-106, 2016.

VIEIRA, C. A. *et al.* Body length of *Hylodes* cf. *ornatus* and *Lithobates catesbeianus* tadpoles, depigmentation of mouthparts, and presence of *Batrachochytrium dendrobatidis* are related. **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, p. 195-199, 2013.

VOYLES, J. *et al.* Diversity in growth patterns among strains of the lethal fungal pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* across extended thermal optima. **Oecologia**, v. 184, n. 2, p. 363-373, 2017.

ZORNOSA-TORRES, C.; LAMBERTINI, C.; TOLEDO, L. F. Amphibian chytrid infections along the highest elevational gradient of the Brazilian Atlantic Forest. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 144, p. 99-106, 2021.