

Abordagem cienciométrica sobre a bioatividade de briófitas: o potencial anti-insetos e as perspectivas para o século XXI

Scientometric approach to bryophytes bioactivity: the anti-insects potential and the perspectives for the XXI century

Enfoque cienciométrico sobre la bioactividad de las briófitas: el potencial anti insectos y las perspectivas para el siglo XXI

Recebido: 16/12/2020 | Revisado: 26/12/2020 | Aceito: 29/12/2020 | Publicado: 30/12/2020

Raynon Joel Monteiro Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8091-4464>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: raynon_alves@yahoo.com.br

Thyago Gonçalves Miranda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6195-6941>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: thyagomiran@hotmail.com

Ana Cláudia Caldeira Tavares-Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4972-036X>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: tavaresmartins7@gmail.com

Resumo

Este estudo realizou uma abordagem cienciométrica sobre a bioatividade de briófitas contra insetos e gerou panoramas quanto às técnicas biotecnológicas promissoras para esta linha de pesquisa, em âmbito mundial. Buscaram-se, em bases virtuais de dados, produções acadêmico-científicas correlatas à temática, no período de 2000 a 2020, e sobre as atualidades e perspectivas em briotecnologia para o controle de insetos. Os dados quantitativos foram tabulados e analisados em frequências, utilizando o *software* Excel 2018, sendo representados em forma de tabelas e gráficos, e as informações qualitativas em quadros. Mapearam-se 19 trabalhos (16 artigos, duas notas científicas e um capítulo de *e-book*) dispersos entre os continentes (exceto Antártida) e entre os anos, com maior produção asiática em 2012-2013. Identificaram-se 16 espécies de hepáticas (10 famílias botânicas) e 38 de musgos (23

famílias), cuja bioatividade foi avaliada por meio de extratos ou plantas *in natura* contra lepidópteros, dípteros ou coleópteros, com resultados satisfatórios para *antifeedant* e/ou inseticida e/ou inibidor de desenvolvimento. Os manuscritos listados foram publicados em 15 periódicos de distintos fatores de impacto, quando havia, e um foi em *e-book*, geralmente, tendo acesso restrito. O número total de citações desses trabalhos foi de 255, sobretudo, em pesquisas indiferentes a esta temática. Técnicas de engenharia genética, cultivo *in vitro* e criopreservação de briófitas são citadas como tecnologias atuais que podem dar suporte à bioprospecção de plantas avasculares em escala comercial e sustentável. No mundo existem poucas pesquisas sobre a relação inseto-briófita que podem servir para o desenvolvimento de defensivos agrícolas naturais. Diante disso, sugere-se a ampliação da bioprospecção da brioflora devido o seu potencial biotecnológico no controle de pragas aliada às técnicas biotecnológicas atuais que podem impulsionar a produção comercial e sustentável de pesticidas à base de briófitas ou contribuir com o melhoramento de plantas agrícolas.

Palavras-chave: Atividade *antifeedant*; Bioprospecção de briófitas; Fitoquímica de briófitas; Inseticidas botânicos, Relação inseto-briófita.

Abstract

This study carried out a scientometric approach on the bioactivity of bryophytes against insects and generated panoramas regarding the promising biotechnological techniques for this line of research, in world. Academic-scientific productions related to the theme, from 2000 to 2020, and on the news and perspectives in briotechnology for the control of insects were searched in virtual databases. Quantitative data were tabulated and analyzed in frequencies, using the Excel 2018 software, being represented in the form of tables and graphs, and the qualitative information in tables. Nineteen works (16 articles, two scientific notes and a chapter in e-book) were mapped, dispersed between the continents (except Antarctica) and between the years, with greater Asian production in 2012-2013. Sixteen hepatic species (10 botanical families) and 38 moss species (23 families) were identified, whose bioactivity was evaluated using extracts or plants *in natura* against lepidopterans, dipterans or coleopterans, with satisfactory results for antifeedant and/or insecticide and/or development inhibitor. The listed manuscripts were published in 15 journals of different impact factors, when there was, and one was in an e-book, usually with restricted access. The total number of citations these works was 255, especially in research not related to the subject in question. Techniques of genetic engineering, *in vitro* cultivation and cryopreservation of bryophytes are cited as current technologies that can support the bioprospecting of avascular plants on a commercial

and sustainable scale. In the world there is few research on the relation of the insect-bryophyte that currently can serve for the development of natural agricultural pesticides. Therefore, it is necessary to expand the bioprospecting of bryoflora due to its biotechnological potential in pest control combined with biotechnology techniques that can boost commercial and sustainable production of pesticides bryophyte base or contribute to the improvement of agricultural plants.

Keywords: Antifeedant activity; Bioprospecting of bryophytes; Phytochemistry of bryophytes; Botanical insecticides; Insect-bryophyte relationship.

Resumen

Este estudio realizó una abordaje cuantitativo sobre la bioactividad de las briófitas frente a los insectos y generó panoramas sobre las prometedoras técnicas biotecnológicas para esta línea de investigación, en el mundo. Se buscaron en bases de datos virtuales producciones académico-científicas relacionadas con la temática, de 2000 a 2020, y sobre las novedades y perspectivas en bryotecnología para el control de insectos. Los datos cuantitativos fueron tabulados y analizados en frecuencias, utilizando el software Excel 2018, siendo representados en forma de tablas y gráficos y la información cualitativa en tablas. Se mapearon 19 trabajos (16 artículos, dos notas científicas y un capítulo de *e-book*), repartidos por continentes (excepto la Antártida) y entre los años, con la mayor producción asiática en 2012-2013. Se identificaron 16 especies de hepáticas (10 familias botánicas) y 38 de musgos (23 familias), cuya bioactividad se evaluó mediante extractos o plantas in natura frente a lepidópteros, dípteros o coleópteros, con resultados satisfactorios para *antifeedant* y/o insecticida y/o inhibidor del desarrollo. Los manuscritos enumerados se publicaron en 15 revistas de diferentes factores de impacto, cuando había, y uno estaba en un *e-book*, generalmente con acceso restringido. El número total de citas de estos trabajos fue de 255, principalmente en investigaciones indiferentes a este tema. Las técnicas de ingeniería genética, cultivo in vitro y criopreservación de briófitas se citan como tecnologías actuales que pueden apoyar la bioprospección de plantas avasculares a escala comercial y sostenible. En el mundo hay poca investigación sobre la relación insecto-briófita que pueda servir para el desarrollo de plaguicidas agrícolas naturales. Por lo que se sugiere expandir la bioprospección de brioflora por su potencial biotecnológico en el control de plagas combinado con las técnicas biotecnológicas actuales que pueden impulsar la producción comercial y sostenible de plaguicidas briófitas o contribuir al mejoramiento de las plantas agrícolas.

Palabras clave: Actividad *antifeedant*; Bioprospección de briófitas; Fitoquímica de briófitas; Insecticidas botânicos; Relación insecto-briófito.

1. Introdução

As briófitas são plantas avasculares que estão distribuídas ao longo de diversos nichos ecológicos e possuem uma rica fonte de compostos fitoquímicos, cuja bioprospecção foi essencial para desvendar essa biorriqueza (Krishnan & Murugan, 2015). Nestas plantas foi identificada grande quantidade de metabólitos secundários (alcalóides, flavonóides, terpenóides, benzenóides, fenilpropanóides, acetogeninas) e outras substâncias primárias (proteínas, lipídios, carboidratos, ácidos graxos), com bioatividade antibacteriana, antiviral, antifúngica, antioxidante, citotóxica, alelopática, moluscicida, piscicida, *antifeedant* (antialimentar), inseticida, inibidora de desenvolvimento biológico, entre outras (Asakawa, 1998; 2001; Xie & Lou, 2009; Abay *et al.*, 2013; Asakawa *et al.*, 2013; Krishnan & Murugan, 2013; Chandra *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2018). Em particular, comprovou-se que a anti-herbivoria de briófitas, em diferentes extensões, acontece pela presença de compostos tóxicos e/ou dissuasivos por grande parte dos invertebrados fitófagos (Davidson *et al.*, 1989; Liao, 1993; Haines & Renwick, 2009), incluindo insetos que atacam plantações agrícolas e grãos armazenados.

Um estudo de destaque na área da fitoquímica de briófitas foi o de Asakawa *et al.* (1980), o qual verificou que os sesquiterpenos encontrados em quatro hepáticas do gênero *Plagiochila* inibiram a alimentação da lagarta *Spodoptera exempta* (Walker, 1856) por causa da substância denominada de plagiochilina A. Extratos metanólicos dos musgos *Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv., *Bryhnia novae-angliae* (Sull. & Lesq.) Grout e *Lycopodium obscurum* L., em dietas artificiais, causaram a (baixa) mortalidade de larvas *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797), com frequência de 10 a 20% (Warthen-Júnior *et al.*, 1982). Em testes de alimentação com 10 musgos, *Polytrichum commune* Hedw. foi o menos consumido por duas espécies de díptera do gênero *Tipula*, sugerindo a presença de compostos fenólicos e biflavonóides com propriedades *antifeedants* (Todd, 1993). No século XXI, testes com bioensaios comprovaram a bioatividade de briófitas para a fagodeterrência e/ou mortalidade e/ou alterações anormais no desenvolvimento de artrópodes (Labbé *et al.*, 2005; Ande *et al.*, 2010; Abay *et al.*, 2012; Corzo *et al.*, 2012; Ramirez *et al.*, 2017).

As briófitas são consideradas o segundo maior grupo de vegetais terrestres, atrás somente das angiospermas (Buck & Goffinet, 2000). A existência de ‘armas químicas’

produzidas pelo metabolismo dessas plantas é um dos fatores que garantiu o seu sucesso evolutivo, como estratégia alternativa de vida poiquilohídrica e para a proteção contra herbívoros e fitopatógenos (Frahm, 2004). Entretanto, observam-se poucos investimentos em pesquisas biotecnológicas sobre as substâncias promissoras nelas encontradas para o desenvolvimento de defensivos agrícolas naturais contra insetos-praga. Pesquisas *in vitro* e, em especial, *in vivo* com extratos de briófitas demonstraram suas atividades antimicrobianas e *antifeedants*, gerando produtos comerciais vendidos na Alemanha e um extrato briofítico foi testado para obter patente como moluscicida comercial (Frahm & Kirchhoff, 2002; Frahm, 2004). Conforme este último autor, tais extratos, por não serem protegidos por nenhuma patente, exceto para o tratamento de doenças fúngicas em cavalos, podem ser desenvolvidos por qualquer pessoa, como os agricultores, necessitando apenas do conhecimento sobre as espécies de briófitas com maior bioatividade e os procedimentos de extração.

Em pleno século XXI é evidente que os compostos secundários de briófitas ainda têm sido ignorados por grande parte dos ecologistas químicos, entomologistas agrícolas e outros profissionais, embora as alternativas de defesa de plantas de interesse econômico contra insetos fitófagos tenham se mostrado eficazes (Haines & Renwick, 2009). Neste viés, até as literaturas típicas de briófitas tem limitados relatos biotecnológicos e comerciais sobre o potencial pesticida desses extratos botânicos. Apesar de a maioria das substâncias bioativas de plantas avasculares ainda não ter mostrado valor econômico na prática, observam-se indicações de novos usos interessantes em um futuro iminente, como: a) transgenia, com foco em genes contra dessecação e anti-herbivoria, visto que as briófitas são fontes de genes para a modificação de plantas agrícolas por meio da engenharia genética; b) determinada empresa cultiva o musgo *Physcomitrella patens* (Hedw.) Bruch & Schimp. para fins medicinais, pois tal espécie é capaz de aceitar genes humanos transferidos e expressá-los para produzir anticorpos em uma cultura líquida; e c) a própria comprovação de compostos bioativos *antifeedants* é suficiente para sugerir que a exploração dessas substâncias neste grupo vegetal pode ser bastante rentável (Glime, 2007; Glime, 2017a,b,c).

O desconhecimento sobre o potencial pesticida das briófitas, particularmente, em relação aos insetos, talvez possa ser em decorrência da pouca visibilidade dos estudos fitoquímicos e farmacológicos que alcançaram periódicos da área da Química e/ou Botânica e pelo fato de que poucos países do globo terrestre terem se dedicado a esse mister. Dentro dessa ótica, a Cienciometria, que estuda os aspectos quantitativos da Ciência, enquanto uma disciplina ou atividade econômica, pode ser utilizada na geração de indicadores da atividade científica sob a perspectiva das relações entre o avanço da Ciência e da tecnologia, assim

como do progresso econômico e social (Macias-Chapula, 1998). Por meio de técnicas numéricas analíticas, estudos dessa natureza visam acompanhar a evolução ou o declínio de campos da Ciência e identificar áreas emergentes que precisam de maiores suportes financeiros ou de recursos humanos para melhor progredirem (Silva *et al.*, 2001).

Neste contexto, estudos cienciométricos se preocupam com a dinâmica da Ciência, como atividade social, buscando analisar a produção, a circulação e o consumo do conhecimento científico e permite realizar inferências sobre o estado da Ciência em determinado nicho do conhecimento (Santos & Kobashi, 2009; Hohemberger *et al.*, 2019). Diante disso, este trabalho foi norteado pelas questões: i) considerando o século atual, onde e como estão sendo produzidas e divulgadas as pesquisas acadêmico-científicas acerca da bioatividade de briófitas sobre o desenvolvimento de insetos, em nível nacional e internacional? ii) Quais são as perspectivas para o avanço da Ciência e da biotecnologia nessa área? Para tanto, o presente estudo objetivou realizar uma abordagem cienciométrica sobre a bioatividade de briófitas contra insetos fitófagos e gerar panoramas em relação às técnicas biotecnológicas promissoras para esta linha de pesquisa, em âmbito mundial.

2. Metodologia

Para esta investigação foi adotada uma abordagem cienciométrica, a qual buscou mensurar e analisar pesquisas publicadas que relatavam os efeitos *antifeedant* e/ou inseticida e/ou inibidor de desenvolvimento biológico como resultados da bioatividade de briófitas em bioensaios com insetos, durante o período de 2000 a dezembro de 2020. Para este levantamento bibliográfico foram utilizados como descritores principais: “*bryophyte* OR moss* OR liverwort* OR hornwort** associados a “*phytochemical*” “*insecticidal activity*”, “*antifeedant activity*”, “*toxic activity*”, “*deterrent*”, “*pungency*”, “*development inhibitor*”, “*herbivorous insect*”, “*bryophagy*” e “*bryophyte biotechnology*”. Os trabalhos de hábito/preferência alimentar foram considerados quando estes abordavam (in)diretamente os efeitos fitoquímicos supracitados. Para tanto, utilizou-se a rede mundial de computadores (*internet*) para a busca ativa de trabalhos acadêmico-científicos nacionais e internacionais (livros, monografias, dissertações, teses, artigos, publicação em anais de eventos, entre outros). As bases de dados pesquisadas foram: *Springer Link*, *PubMed*, *Science Direct*, *Jstor*, *Scielo*, *Google Scholar*, Periódicos da Capes e a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. Para o item ‘atualidades e perspectivas em biotecnologia de briófitas no controle de insetos-praga’ foi realizado um levantamento bibliográfico em produções científicas *on-line* sobre o

assunto.

Das publicações levantadas, as informações pertinentes foram tabuladas em planilhas do *software Excel* 2018 e classificadas em: a) tipo de produção; b) país/continente de origem da pesquisa; c) instituição acadêmico-científica (vínculo do autor); d) ano de publicação; e) espécies de hepáticas e musgos; f) forma de análise da bioatividade das briófitas; g) espécies de insetos usados nos bioensaios; h) resultados dos trabalhos em relação aos efeitos inseticida e/ou *antifeedant* e/ou inibidor de desenvolvimento em insetos; i) número individual e total de citações de cada trabalho listado; j) tipo de acesso do manuscrito ao público; l) revistas científicas e o fator de impacto, quando havia; e m) temática dos estudos que citaram/referenciaram as produções listadas. No caso das instituições em que foram desenvolvidas as pesquisas, considerou-se o vínculo do primeiro autor do manuscrito, somente quando essa informação não estava especificada no manuscrito. Para o item ‘m’ foi utilizada a opção ‘citado por’ do *Google Scholar* e para classificar os trabalhos que os citaram/referenciaram foram consideradas cinco categorias: 1. Fitoquímica e/ou bioatividade de plantas vasculares, 2. Fitoquímica e/ou bioatividade de briófitas; 3. Revisão sobre briófitas; 4. Revisão sobre plantas vasculares e; 5. Outra, quando estivesse fora da temática deste estudo.

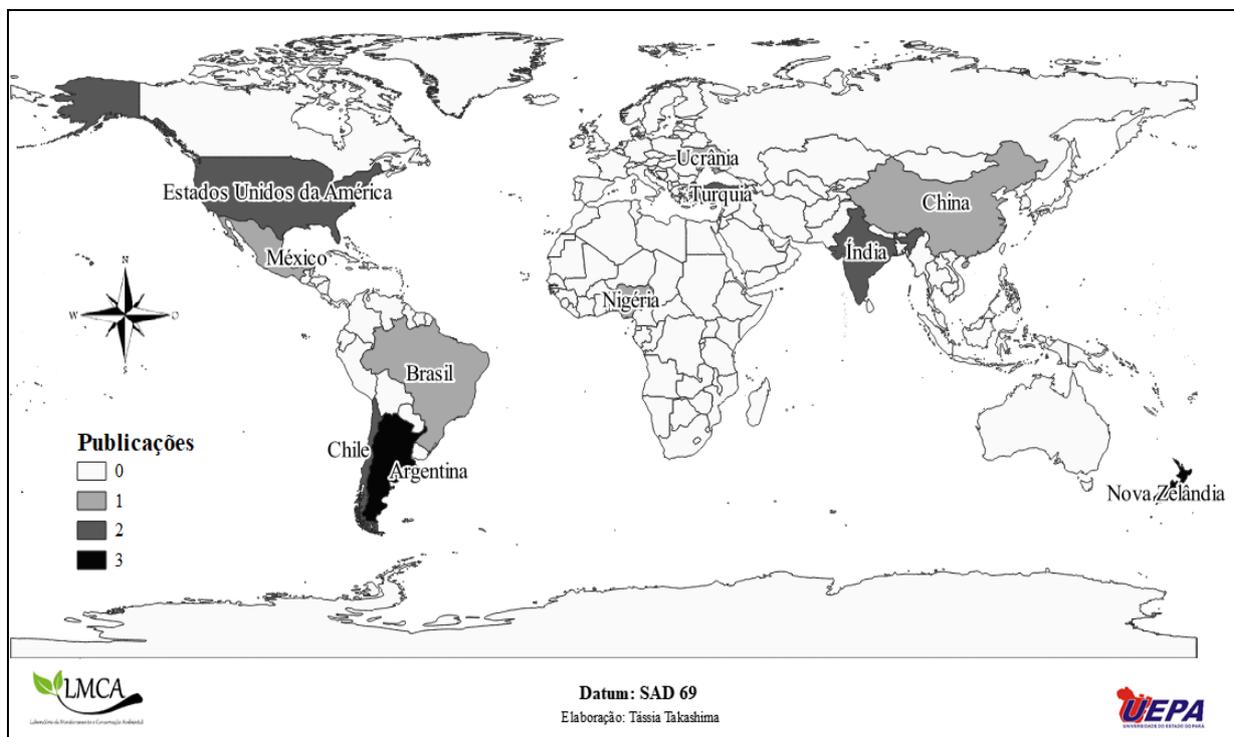
Em relação aos dados supracitados que foram obtidos, calcularam-se as frequências absolutas ou relativas, sendo representadas em forma de gráficos e tabelas, utilizando o *software Excel* 2018. Quanto às espécies de hepáticas e musgos, estas foram classificadas de acordo com as famílias botânicas, juntamente com a forma de análise da bioatividade, os efeitos bioativos comprovados e a(s) espécie(s) de inseto utilizada(s) nos bioensaios, em forma de quadros resumitivos das publicações listadas. Para a atualização da nomenclatura científica de musgos e hepáticas foram utilizadas as bases de dados da Re flora (Flora do Brasil, 2020) e do *Missouri Botanical Garden* (Trópicos, 2020), e para as espécies de insetos foi usado o *Catalogue of life* (Bayle *et al.*, 2019). Sobre o tópico ‘Atualidades e perspectivas em biotecnologia de briófitas no controle de insetos-praga’, as informações levantadas foram analisadas qualitativamente, a fim de gerar panoramas sobre as principais biotecnologias atuais que podem dar suporte à bioprospecção de briófitas para o combate aos insetos-praga em escala comercial e de forma sustentável.

3. Resultados e discussão

3.1 Aspectos cientiométricos

Considerando o período de análise foram encontrados 16 artigos, duas notas científicas e um capítulo de livro que versavam sobre a temática em questão. Predominantemente, esses trabalhos científicos procederam da Argentina e da Nova Zelândia, ambos com três publicações, enquanto os demais países listados tiveram de uma a duas publicações (Figura 1 e Quadro 1). Neste cenário, a instituição acadêmico-científica de maior destaque foi a Universidade Nacional de Tucumán, com três pesquisas publicadas, sendo dois de M. Ramírez e um de F. L. Corzo (autores principais), seguido das Universidades de Otago, do Chile e de Çankırı Karatekin e da Faculdade Universitária da Índia, com duas publicações cada uma, devido aos estudos duplos de N. B. Perry, C. Labbé, G. Abay, R. Krishnan e K. Murugan, respectivamente (Quadro 1).

Figura 1 - Distribuição mundial do número de publicações sobre a fitoquímica de briófitas e sua bioatividade contra insetos, durante o período de 2000 a 2020.



Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 1 - Relação das instituições acadêmico-científicas dos autores principais e seus respectivos países, correspondente à produção publicada sobre a fitoquímica de briófitas e sua bioatividade contra insetos, durante o período de 2000 a 2020.

Nome da instituição	Autores dos trabalhos publicados	País
Universidade Nacional de Tucumán	Ramírez <i>et al.</i> (2010; 2017); Corzo <i>et. al.</i> (2012)	Argentina
Universidade de Otago	Perry <i>et al.</i> (2003; 2008)	Nova Zelândia
Universidade de Chile	Labbé <i>et al.</i> (2005; 2007)	Chile
Universidade Çankırı Karatekin	Abay <i>et al.</i> (2012; 2013)	Turquia
Faculdade Universitária da Índia	Krishann e Murugan (2013; 2015)	Índia
Instituto da Nova Zelândia para Pesquisa de Alimentos e Culturas	Ainge <i>et al.</i> (2001)	Nova Zelândia
Instituto de Ecologia Terrestre	Smith <i>et al.</i> (2001)	Ucrânia
Universidade do Norte da Carolina	Markham <i>et al.</i> (2006)	EUA
Instituto de Ecologia, A. C.	Arroyo-Rodríguez <i>et al.</i> (2007)	México
Instituto Boyce Thompson	Haines e Renwick (2009)	EUA
Universidade de Ilorin	Ande <i>et al.</i> (2010)	Nigéria
Universidade de Campinas	Silva-Maciel e Santos (2011)	Brasil
Universidade Normal da China Oriental	Fang e Zhu (2012)	China

Fonte: Dados da pesquisa.

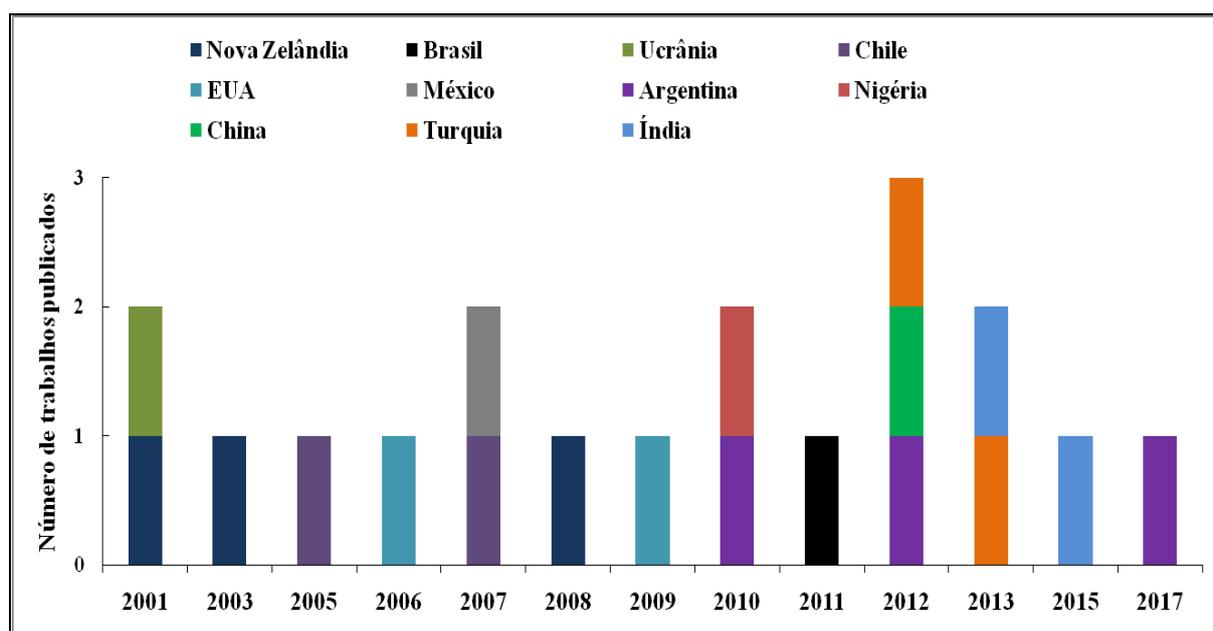
A Figura 1 ilustra a classificação da produção acadêmico-científica mundial sobre os estudos de bioatividade de briófitas contra insetos e a sua concentração nos países do globo terrestre, permitindo inferir a quantidade de publicação sobre a temática em determinado(s) país(es) ou continente(s). Por sua vez, no Quadro 1 está apresentado o vínculo institucional do primeiro autor de cada um dos trabalhos encontrados sobre o assunto em questão.

No cenário supracitado, foi encontrado no Brasil apenas o estudo de Maciel-Silva e Santos (2011), o qual concluiu que *Hypopterygium tamarisci* (Sw.) Brid. ex Müll. Hal. e *Lopidium concinnum* (Hook.) Wilson foram fontes de alimento para larvas de lepidópteros (Geometridae) e também microcaracóis (Charopidae), na Mata Atlântica, o que pode estar relacionado aos valores mais altos de proteínas em comparação aos de fenóis. Sobre este fato, pode-se inferir que estudos com briófitas em determinadas linhas de pesquisa no território brasileiro são mínimos, o que pode ser justificado pelo número reduzido de espécies de briófitas conhecidas [com potencial biotecnológico] e de briólogos ou pela dificuldade de utilização dessas plantas para determinada finalidade (Barbosa & Carvalho, 2016).

Durante o período estabelecido para esta pesquisa, verificou-se que a distribuição dos manuscritos listados foi esparsa, destacando os anos de 2012, com três publicações, e os de

2001, 2007, 2010 e 2013, com dois trabalhos publicados cada um, enquanto nos demais foram encontrados apenas um registro (Figura 2). Os anos sem publicações localizadas (2000, 2002, 2004, 2014, 2016, 2018 a 2020) não foram considerados nas análises. Em particular, no biênio 2012-2013, o maior número de produções publicadas (quatro) teve procedência asiática (China, Turquia e Índia) (Figura 2).

Figura 2 – Distribuição do número de trabalhos por ano de publicação e país de origem sobre a fitoquímica de briófitas e sua bioatividade contra insetos, durante o período de 2000 a 2020.



Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 2 está apresentada a ocorrência temporal (período de 2000 a 2020) dos trabalhos encontrados sobre a fitoquímica de briófitas e sua bioatividade anti-insetos, os quais tiveram origem em 11 países.

Neste contexto, a Ásia vem se destacando em pesquisas sobre a fitoquímica e a bioatividade de briófitas em razão da atuação de pesquisadores renomados, embora a origem das espécies pesquisadas da brioflora corresponda a diferentes continentes. Por exemplo, o pesquisador Yoshinori Asakawa e colaboradores, há décadas, vêm estudando substâncias bioativas em briófitas (compostos fenólicos, pungentes, amargos e letais) em relação a sua química, farmacologia e aplicação como fontes de cosméticos e drogas medicinais e também agrícolas, e já pesquisaram mais de 1.000 espécies coletadas na América do Norte e do Sul, Europa, Oceania, África e Ásia (Asakawa *et al.*, 2013; Singh & Srivastava, 2013).

O baixo número de trabalhos publicados digitalmente no século XXI deixa em evidência que o estudo fitoquímico de briófitas para o controle populacional de insetos ainda é muito incipiente, mesmo diante de compostos bioativos já elucidados e testados como *antifeedant* e/ou inseticida em relação aos insetos que podem ser pragas agrícolas ou pecuárias, a exemplo das pesquisas listadas. Sobre isso, pode-se inferir que as substâncias biologicamente ativas de briófitas ainda não provaram ser econômicas na prática, apesar de serem promissoras, e embora o uso de recursos da brioflora como agentes inseticidas tenha ganhado importância nas últimas décadas (Glime, 2007; Ozturk *et al.*, 2018). Além disso, observa-se que a maior parte das pesquisas afins tem como foco a química dos compostos orgânicos de musgos e hepáticas e/ou testes de bioatividade voltados para a área farmacológica e medicinal, assim como há a predominância de estudos sobre os extratos de angiospermas e suas propriedades *antifeedants* e/ou inseticidas em negligência às plantas avasculares e o seu potencial defensivo contra insetos.

Em relação às hepáticas utilizadas nas pesquisas, estas corresponderam a 16 espécies, distribuídas em 10 famílias botânicas, com predominância de Lejeuneaceae (*Lejeunea* sp., *Leptolejeunea obovata* Bischl. e *Cyclolejeunea chitonia* (Taylor ex Lehm.) A. Evans.) e Plagiochilaceae (*Plagiochila bursata* Lindenb, *Plagiochila beddomei* Steph. e *Plagiochila diversifolia* Lindenb. & Gottsche), ambas com três espécies, seguida de Lepidolaenaceae (*Lepidolaena hodgsoniae* Grolle e *Lepidolaena clavigera* (Hook.) Dumort. ex Trevis.) e Porellaceae (*Porella chilensis* (Lehm. & Lindenb.) Trevis. e *Porella acutifolia* (Lehm. & Lindenb.) Trevis.), com duas espécies cada uma, enquanto as demais famílias foram usadas apenas uma vez em outros estudos (Quadro 2). A espécie *Marchantia linearis* Lehm. & Lindenb (Marchantiaceae) foi usada em duas pesquisas distintas, na Índia, para avaliar o potencial inseticida de flavonóides e o de proteínas extraídas dessa hepática, em forma de extratos, contra duas espécies de lepidópteros, assim como a *L. clavigera* foi estudada, duas vezes na Nova Zelândia, para testar a atividade *antifeedant* e/ou inseticida de seus extratos contra larvas de uma espécie de besouro e de uma mariposa (Quadro 2).

Quadro 2 - Informações básicas dos estudos publicados utilizando hepáticas em testes de bioatividade contra insetos, durante o período de 2000 a 2020. IN (Inseticida), AN (*Antifeedant*), ID (Inibidor de desenvolvimento), ° (Propriedade não avaliada ou não citada), + (Resultado positivo para a propriedade), - (Resultado negativo para a propriedade).

Família/espécie	Forma de análise	Propriedade(s) comprovada(s)			Inseto dos bioensaios	Fonte
		IN	AN	ID		
ANEURACEAE						
<i>Riccardia polyclada</i> (Mitt. ex Thurn) Hässel	Extrato	+	°	°	<i>Spodoptera littoralis</i> Boisduval, 1833 (Lepidoptera: Noctuidae)	Labbé <i>et al.</i> (2007)
BALANTIOPSISIDACEAE						
<i>Balantiopsis cancellata</i> (Nees) Steph.	Extrato	+	°	°	<i>Spodoptera littoralis</i> Boisduval, 1833 (Lepidoptera: Noctuidae)	Labbé <i>et al.</i> (2005)
CONOCEPHALACEAE						
<i>Conocephalum conicum</i> (L.) Dumort.	Extrato	+	°	°	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, C., 1758) (Coleoptera: Curculionidae)	Abay <i>et al.</i> (2013)
LEJEUNEACEAE						
<i>Lejeunea</i> sp.	Planta	-	-	°	<i>Geranomyia recôndita</i> Alexander, 1921 (Diptera: Limoniidae)	Arroyo-Rodríguez <i>et al.</i> (2007)
<i>Leptolejeunea obovata</i> Bischl.	Planta	°	+	°	<i>Geranomyia recondita</i> Alexander, 1921 (Diptera: Limoniidae)	Arroyo-Rodríguez <i>et al.</i> (2007)
<i>Cyclolejeunea chitonia</i> (Taylor ex Lehm.) A. Evans.	Planta	-	-	°	<i>Geranomyia recondita</i> Alexander, 1921 (Diptera: Limoniidae)	Arroyo-Rodríguez <i>et al.</i> (2007)
LEPIDOLAENACEAE						
<i>Lepidolaena hodgsoniae</i> Grolle	Extrato	+	°	+	<i>Lucilia cuprina</i> (Wiedemann, 1830) (Diptera: Calliphoridae)	Ainge <i>et al.</i> (2001)
<i>Lepidolaena clavigera</i> (Hook.) Dumort. ex Trevis.	Extrato	-	+	°	<i>Anthrenocerus australis</i> Hope, 1845 (Coleoptera: Dermestidae)	Perry <i>et al.</i> (2003)
	Extrato	+	+	°	<i>Tineola bisselliella</i> (Hummel, 1823) (Lepidoptera: Tineidae)	

	Extrato	-	+	o	<i>Anthrenocerus australis</i> Hope, 1845 (Coleoptera: Dermestidae)	Perry <i>et al.</i> (2008)
	Extrato	-	+	o	<i>Tineola bisselliella</i> (Hummel, 1823) (Lepidoptera: Tineidae)	
MARCHANTIACEAE						
<i>Marchantia linearis</i> Lehm & Lindenb.	Extrato	+	+	+	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	+	+	+	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
<i>Marchantia linearis</i> Lehm & Lindenb.	Extrato	+	+	+	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2015)
PALLAVICINIACEAE						
<i>Pallavicinia lyellii</i> (Hook.) Gray	Extrato	o	+	o	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	o	+	o	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
PORELLACEAE						
<i>Porella chilensis</i> (Lehm. & Lindenb.) Trevis.	Extrato	+	o	+	<i>Spodoptera frugiperda</i> JE Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae)	Corzo <i>et al.</i> (2012)
<i>Porella acutifolia</i> (Lehm. & Lindenb.) Trevis.	Extrato	o	+	o	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	o	+	o	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
PLAGIOCHILACEAE						
<i>Plagiochila bursata</i> Lindenb.	Extrato	+	+	+	<i>Spodoptera frugiperda</i> JE Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae)	Ramirez <i>et al.</i> (2010)
<i>Plagiochila diversifolia</i> Lindenb. & Gottsche	Extrato	+	+	+	<i>Spodoptera frugiperda</i> JE Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae)	Ramirez <i>et al.</i> (2017)
<i>Plagiochila beddomei</i> Steph.	Extrato	o	+	o	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)

	Extrato	◦	+	◦	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
RICCIACEAE						
<i>Riccia frostii</i> Austin	Extrato	◦	+	◦	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	◦	+	◦	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	

Fonte: Dados da pesquisa.

No Quadro 2 estão apresentados de forma resumida os trabalhos publicados sobre os testes de atividade biológica de hepáticas sobre insetos. Desta forma, estão apresentadas as espécies de hepáticas, classificadas em famílias botânicas, a forma de análise da bioatividade (extrato ou *in natura*), os resultados comprovados (inseticida e/ou *antifeedant* e/ou inibidor de desenvolvimento), as espécies de insetos usados nos bioensaios e, por último, os autores das referidas pesquisas.

As famílias Lejeuneaceae, Plagiochilaceae, Lepidolaenaceae e Marchantiaceae possuem hepáticas que produzem grandes quantidades de mono, sesqui e diterpenóides e são fontes ricas de compostos aromáticos, como bibenzil e bis-bibenzilos, em seus oleocorpos (Asakawa, 2004; 2008; Asakawa *et al.*, 2013). Flavonóides e derivados do ácido cinâmico também podem ser encontrados em Lejeuneaceae, simultaneamente (Kruijt *et al.*, 1986). Por meio de indicadores quimiosistemáticos, concluiu-se que Lejeuneaceae e Porellaceae se originaram de um ancestral comum (Asakawa, 1982), o que justifica a presença dos mesmos compostos químicos em diferentes espécies dessas famílias. Os terpenóides voláteis ou compostos aromáticos são responsáveis por odores característicos das hepáticas, como o cheiro misto intenso de naftaleno e odor forte de leite em *Leptolejeunea* spp., aguarrás em *Porella* spp., amadeirado em *Plagiochila* spp. (Asakawa, 1995; 2008; Toyota *et al.*, 1997; Asakawa *et al.*, 2013). Estes autores reuniram informações sobre os diferentes gêneros de briófitas que produzem substâncias intensamente picantes, amargas ou doces com atividades biológicas, como: *antifeedants* de insetos, moluscicidas, piscicidas, anticancerígenas, antimicrobianas, antifúngicas, entre outros.

Tratando-se das espécies de musgos mencionadas nos estudos listados, estas somaram 38, distribuídas em 23 famílias botânicas, sendo que a Dicranaceae (*Dicranum scoparium* Hedw., *Dicranum fuscescens* Turner., *Campylopus pilifer* Brid.), Bryaceae (*Bryum argenteum* Hedw., *Bryum coronatum* Schwägr., *Brachymenium nepalense* Hook.), Hypnaceae (*Hypnum cupressiforme* Hedw., *Isopterygium albescens* (Hook.) A. Jaeger, *Taxiphyllum taxirameum* (Mitt.) M. Fleisch.) e Polytrichaceae (*Polytrichastrum formosum* (Hedw.) G.L. Sm., *Pogonatum inflexum* (Lindb.) Sande Lac., *P. commune*) tiveram três espécies cada e as demais famílias tiveram de um a dois representantes em outras pesquisas (Quadro 3). O musgo *B. argenteum* teve frequência em dois trabalhos distintos, assim como as espécies *H. tamarisci*, *H. cupressiforme*, *P. commune* e *Funaria hygrometrica* Hedw., buscando testar/entender por meio de diferentes métodos os efeitos do metabolismo de briófitas, *in natura* ou em forma de extratos, sobre lepidópteros, dípteros e coleópteros, que, em geral, são considerados insetos-praga (Quadro 3).

Quadro 3 - Informações básicas dos estudos publicados utilizando musgos em testes de bioatividade contra insetos, durante o período de 2000 a 2020. IN (Inseticida), AN (*Antifeedant*), ID (Inibidor de desenvolvimento), ° (Propriedade não avaliada ou não citada), + (Resultado positivo para a propriedade), - (Resultado negativo para a propriedade).

Família/espécie	Forma de análise	Propriedades comprovadas			Inseto do bioensaio	Fonte
		IN	AN	ID		
BARTRAMIACEAE						
<i>Philonotis Fontana</i> (Hedw.) Brid.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
BRACHYTHECIACEAE						
<i>Homalothecium lutescens</i> (Hedw.) H. Rob.	Extrato	+	°	°	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, C., 1758) (Coleoptera: Curculionidae)	Abay <i>et al.</i> (2013)
<i>Brachythecium buchananii</i> (Hook.) A. Jaeger	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
BRUCHIACEAE						
<i>Trematodon longicollis</i> Michx.	Planta	-	-	°	<i>Agrotis</i> sp. (Lepidoptera: Noctuidae)	Fang e Zhu (2012)
BRYACEAE						
<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	Planta	-	+	°	<i>Trichoplusia ni</i> Hübner, 1802 (Lepidoptera: Noctuidae)	Haines e Renwick (2009)
<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	Extrato	+	+	+	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	+	+	+	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
<i>Bryum coronatum</i> Schwägr.	Extrato	+	+	°	Broca do milho	Ande <i>et al.</i> (2010)

<i>Brachymenium nepalense</i> Hook.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
CALYMPERACEAE						
<i>Calymperes afzelii</i> Sw.	Extrato	+	+	°	Broca do milho	Ande <i>et al.</i> (2010)
<i>Octoblepharum albidum</i> Hedw.	Extrato	+	+	+	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	+	+	+	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
CLIMACIACEAE						
<i>Climacium americanum</i> Brid.	Planta	-	+	°	<i>Trichoplusia ni</i> Hübner, 1802 (Lepidoptera: Noctuidae)	Haines e Renwick (2009)
DICRANACEAE						
<i>Dicranum fuscescens</i> Turner	Planta	-	-	-	<i>Tipula montana</i> Curtis, 1834 (Diptera: Tipulidae)	Smith <i>et al.</i> (2001)
<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	Extrato	+	°	°	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, C., 1758) (Coleoptera: Curculionidae)	Abay <i>et al.</i> (2012)
<i>Campylopus pilifer</i> Brid.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
DITRICHACEAE						
<i>Ditrichum pallidum</i> (Hedw.) Hampe	Planta	+	+	°	<i>Agrotis</i> sp. (Lepidoptera: Noctuidae)	Fang e Zhu (2012)
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	Extrato	+	+	+	<i>Spodoptera frugiperda</i> JE Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae)	Markham <i>et al.</i> (2006)
	Extrato	+	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	
FISSIDENTACEAE						
<i>Fissidens asperifolius</i> Broth. & M. Fleisch.	Extrato	+	+	+	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)

	Extrato	+	+	+	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
<i>Fissidens crispulus</i> Brid.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
FUNARIACEAE						
<i>Funaria hygrometrica</i> Hedw.	Planta	-	-	°	<i>Agrotis</i> sp. (Lepidoptera: Noctuidae)	Fang e Zhu (2012)
<i>Funaria hygrometrica</i> Hedw.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
<i>Physcomitrium sphaericum</i> (C. Ludw.) Brid.	Planta	-	-	°	<i>Agrotis</i> sp. (Lepidoptera: Noctuidae)	Fang e Zhu (2012)
GRIMMIACEAE						
<i>Racomitrium lanuginosum</i> (Hedw.) Brid.	Planta	-	-	-	<i>Tipula montana</i> Curtis, 1834 (Diptera: Tipulidae)	Smith <i>et al.</i> (2001)
HOOKERIAACEAE						
<i>Lopidium concinnum</i> (Hook.) Wilson	Planta	°	-	°	Larvas de lepidópteros (Geometridae)	Maciel-Silva e Santos (2011)
HYLOCOMIACEAE						
<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt.	Planta	-	-	-	<i>Tipula montana</i> Curtis, 1834 (Diptera: Tipulidae)	Smith <i>et al.</i> (2001)
HYPNACEAE						
<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw.	Extrato	+	°	°	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, C., 1758) (Coleoptera: Curculionidae)	Abay <i>et al.</i> (2012)
<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw.	Extrato	+	°	°	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, C., 1758) (Coleoptera: Curculionidae)	Abay <i>et al.</i> (2013)
<i>Isopterygium albescens</i> (Hook.) A. Jaeger	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	

					Noctuidae)	
<i>Taxiphyllum taxirameum</i> (Mitt.) M. Fleisch.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
HYOPTERYGIACEAE						
<i>Hypopterygium tamarisci</i> (Sw.) Brid. ex Müll. Hal.	Planta	°	-	°	Larvas de lepidópteros (Geometridae)	Maciel-Silva e Santos (2011)
<i>Hypopterygium tamarisci</i> (Sw.) Brid. ex Müll. Hal.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
LESKEACEAE						
<i>Haplocladium microphyllum</i> (Sw. ex Hedw.) Broth.	Planta	-	-	°	<i>Agrotis</i> sp. (Lepidoptera: Noctuidae)	Fang e Zhu (2012)
LEUCOBRYACEAE						
<i>Leucobryum glaucum</i> (Hedw.) Ångstr.	Planta	-	+	°	<i>Trichoplusia ni</i> Hübner, 1802 (Lepidoptera: Noctuidae)	Haines e Renwick (2009)
	Extrato	-	+	°	<i>Trichoplusia ni</i> Hübner, 1802 (Lepidoptera: Noctuidae)	Haines e Renwick (2009)
<i>Leucobryum bowringii</i> Mitt.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
PORELLACEAE						
<i>Porella acutifolia</i> (Lehm. & Lindenb.) Trevis.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
POLYTRICHACEAE						

<i>Polytrichastrum formosum</i> (Hedw.) G.L. Sm.	Extrato	+	°	°	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, C., 1758) (Coleoptera: Curculionidae)	Abay <i>et al.</i> (2013)
<i>Pogonatum inflexum</i> (Lindb.) Sande Lac.	Planta	+	+	°	<i>Agrotis</i> sp. (Lepidoptera: Noctuidae)	Fang e Zhu (2012)
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	Planta	-	-	-	<i>Tipula montana</i> Curtis, 1834 (Diptera: Tipulidae)	Smith <i>et al.</i> (2001)
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
POTTIACEAE						
<i>Barbula lambarenensis</i> P. de la Varde	Extrato	+	+	°	Broca do milho	Ande <i>et al.</i> (2010)
RACOPIACEAE						
<i>Racopilum cuspidigerum</i> (Schwägr.) Ångstr.	Extrato	°	+	°	<i>Helicoverpa zea</i> Boddie, 1850 (Lepidoptera: Noctuidae)	Krishnan e Murugan (2013)
	Extrato	°	+	°	<i>Spodoptera litura</i> Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Noctuidae)	
SPHAGNACEAE						
<i>Sphagnum warnstorffii</i> Russow	Planta	-	+	°	<i>Trichoplusia ni</i> Hübner, 1802 (Lepidoptera: Noctuidae)	Haines e Renwick (2009)
<i>Sphagnum girgensohnii</i> Russow	Planta	-	-	-	<i>Tipula montana</i> Curtis, 1834 (Diptera: Tipulidae)	Smith <i>et al.</i> (2001)
THUIDIACEAE						
<i>Thuidium gratum</i> (P. Beauv.) A. Jaeg.	Extrato	+	+	°	Broca do milho	Ande <i>et al.</i> (2010)

Fonte: Dados da pesquisa.

No Quadro 3 está apresentado um resumo de cada uma das pesquisas encontradas sobre a fitoquímica de musgos e sua bioatividade sobre insetos. Deste modo, estão apresentadas as espécies de musgos, classificadas em famílias botânicas, a forma de análise da bioatividade (extrato ou *in natura*), os resultados comprovados (inseticida, *antifeedant* ou inibidor de desenvolvimento), as espécies de insetos usados nos bioensaios e os autores de cada pesquisa.

Muitos estudos reuniram informações sobre a composição química de muitas espécies das famílias Dicranaceae, Bryaceae, Hypnaceae e Polytrichaceae, destacando que tais plantas apresentam ácidos graxos, flavonóides, alcalóides, terpenóides, fenóis, saponinas e esteróides, assim como os diferentes usos na medicina popular em escala global quanto ao tratamento de feridas externas, epilepsia, menorragia, neurastenia, febre, queimaduras, contusões, problemas cardiovasculares, prostração nervosa e como produto diurético, antídoto, antipirético, antifúngico, anti-hipertensivo, antimicrobiano, entre outros (Asakawa, 1995; Chandra *et al.*, 2017; Ozturk *et al.*, 2018; Ganesh *et al.*, 2019). Frisa-se que o uso de briófitas como pesticida ganhou relativa importância nos últimos anos e vários relatórios confirmaram resultados satisfatórios desses extratos botânicos como repelente de contato e para efeitos *antifeedants* e/ou inseticidas de pragas de alimentos armazenados e de plantações (Chandra *et al.*, 2017), conforme verificado nos trabalhos aqui relatados, incluindo também os insetos de importância para a pecuária e para o setor têxtil.

Em relação às formas de análise para a bioatividade das briófitas contra insetos, os pesquisadores em questão utilizaram, sobretudo, extratos de hepáticas e de musgos a partir de diferentes solventes (88,0% e 72,1%, respectivamente) e os demais utilizaram as plantas *in natura* em testes de alimentação (12,0% e 27,9%, respectivamente), com base nos Quadros 1 e 2. As vantagens do uso desses extratos podem estar relacionadas à disponibilidade de matéria-prima, segurança, baixo custo, facilidade de produção e de aplicação, além de que a extração permite remover, de forma mais seletiva e completa possível, as substâncias ou fração ativa presentes nas partes vegetais por meio de solventes apropriados (Ande *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2013), permitindo a obtenção de compostos apolares e polares de interesse biotecnológico. Quanto ao uso de briófitas *in natura* nos bioensaios, constatou-se a presença de compostos químicos nessas plantas, os quais integram mecanismos pré e pós-ingestivos contra herbívoros (Haines & Renwick, 2009), o que condiz com os resultados obtidos nas pesquisas listadas em relação à anti-herbivoria e/ou alterações morfológicas e fisiológicas e/ou mortalidade dos insetos. Considera-se ainda que este último método mais

simplificado pode servir como indicador de potenciais matérias-primas (recursos) para a formulação de defensivos agrícolas à base de musgos e hepáticas.

Tratando-se dos insetos utilizados nos bioensaios, conforme os Quadros 1 e 2, os lepidópteros perfizeram 80,2% dos experimentos, seguido de dípteros (10,5%) e coleópteros (9,3%). As larvas de mariposas (*Spodoptera* spp., *Trichoplusia ni* Hübner, 1802, *Agrotis* sp., broca do caule do milho e *Helicoverpa zea* Boddie, 1850) são consideradas as principais pragas agrícolas, cosmopolitas e com hábitos generalistas, alimentando-se de inúmeras culturas, como: milho, feijão, algodão, soja, arroz, destruindo-as (Gallo *et al.*, 2002), se não controladas. Algumas espécies da família Geometridae também causam danos em cultivos agrícolas e árvores, enquanto a *Tineola bisselliella* (Hummel, 1823) provoca injúrias em lã (Hill, 1983; Gerard *et al.*, 1993). A mosca *Lucilia cuprina* (Weidemann, 1830) é uma importante praga de ovinos (Eisemann *et al.*, 1994) e *Tipula montana* Curtis, 1834 pertence à família Tipulidae, a qual possui algumas larvas que vivem no solo e podem danificar culturas, incluindo grama (Carter, 1976). Enquanto o coleóptero *Anthrenocerus australis* Hope, 1845 é uma praga da lã, o *Sitophilus granarius* (Linnaeus, C., 1758) é uma das principais pestes de grãos e produtos armazenados (Gerard *et al.*, 1993; Athanassiou *et al.*, 2007). Grande parte desses insetos apresenta importância econômica e a maioria dos estudos levantados obteve resultados promissores, o que evidencia a necessidade de entender as defesas das briófitas contra herbivoria no sentido de levar a novas estratégias para o controle de pragas (Haines e Renwick, 2009).

Quanto aos resultados obtidos nos bioensaios, de acordo com suas especificidades metodológicas, a maioria dos extratos de hepáticas apresentou efeito *antifeedant* e/ou inseticida em seus respectivos insetos-alvo, com destaque para *M. linearis*, *P. bursata* e *P. diversifolia* que demonstraram simultaneamente os efeitos supracitados, além da inibição do desenvolvimento normal dos artrópodes, enquanto *Lejeunea* sp. e *C. chitonia* (plantas *in natura*) não apresentaram nenhuma das implicações desejadas (Quadro 2). Os resultados dos extratos dos musgos foram majoritariamente positivos como *antifeedant*, mas os de *B. argenteum*, *Octoblepharum albidum* Hedw. e *Fissidens asperifolius* Broth. & M. Fleisch. apresentaram efeitos simultâneos para a anti-herbivoria, mortalidade e inibição de desenvolvimento de lepidópteros, em duas pesquisas distintas cada um (Quadro 3). Os testes com musgos *in natura* tiveram, em sua maioria, efeitos negativos ou nulos nos aspectos estudados, incluindo *B. argenteum* e *P. commune* que foram avaliados positivamente em forma de extratos para diferentes espécies de insetos. Consta-se na literatura a eficiência de extratos botânicos, pois o princípio ativo resulta do metabolismo secundário das plantas,

acumulado nos tecidos, com potencial para um controle diferenciado e promissor de fitopatógenos e pragas em sistemas integrados de manejo agrícola (Villalobos, 1996; Venturoso *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013).

Dos trabalhos listados, verificou-se que o número total de citações correspondeu a 255, considerando as autocitações. Individualmente, notou-se que os mais citados foram os de Ainge *et al.* (2001), Perry *et al.* (2003), Labbé *et al.* (2005), Smith *et al.* (2001), Perry *et al.* (2008), Markham *et al.* (2006) e Labbé *et al.* (2007) - com 29, 25, 27, 23, 23, 21, 20 citações, respectivamente -, os quais podem ser considerados os pioneiros no século XXI em estudos com bioatividade de briófitas sobre o desenvolvimento de insetos. Porém, concomitantemente, observou-se que o número de citações dos demais trabalhos decresceu com o passar dos anos (Tabela 1).

Tabela 1 - Relação dos trabalhos listados com seus respectivos números de citações, tipo de acesso ao manuscrito, nome do periódico de publicação ou *e-book* (*) e o seu fator de impacto.

Publicação científica	Número de citações	Tipo de acesso	Nome do periódico ou <i>e-book</i>	Fator de impacto
Ainge <i>et al.</i> (2001)	29	Restrito	<i>The Journal of Organic Chemistry</i>	4.335
Smith <i>et al.</i> (2001)	23	Restrito	<i>Ecological Entomology</i>	1.848
Perry <i>et al.</i> (2003)	25	Restrito	<i>Tetrahedron Letters</i>	2.275
Labbé <i>et al.</i> (2005)	27	Restrito	<i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i>	4.192
Markham <i>et al.</i> (2006)	21	Restrito	<i>International Journal of Plant Sciences</i>	1.425
Arroyo-Rodríguez <i>et al.</i> (2007)	1	Livre	<i>Journal of The New York Entomological Society</i>	-
Labbé <i>et al.</i> (2007)	20	Restrito	<i>Journal of Natural Products</i>	3.779
Perry <i>et al.</i> (2008)	23	Restrito	<i>Journal of Natural Products</i>	3.779
Haines e Renwick (2009)	14	Restrito	<i>Entomologia Experimentalis et Applicata</i>	1.696
Ande <i>et al.</i> (2010)	8	Livre	<i>Ethnobotanical Leaflets</i>	-
Ramírez <i>et al.</i> (2010)	10	Restrito	<i>Chemistry & Biodiversity</i>	2.039
Maciel-Silva e Santos (2011)	6	Restrito	<i>Journal of Bryology</i>	1.260
Abay <i>et al.</i> (2012)	17	Restrito	<i>Journal of Stored Products Research</i>	2.123
Abay <i>et al.</i> (2013)	17	Restrito	<i>Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening</i>	1.195
Corzo <i>et al.</i> (2012)	10	Restrito	<i>Neotropical Entomology</i>	1.330
Fang e Zhu (2012)	1	Restrito	<i>Journal of Bryology</i>	1.260

Krishann e Murugan (2013)	0	Restrito	<i>Prospects in Bioscience*</i>	-
Krishann e Murugan (2015)	3	Livre	<i>International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology</i>	1.7
Ramírez <i>et al.</i> (2017)	0	Restrito	<i>Chemistry & Biodiversity</i>	2.039
Total	255	-	-	-

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 1 permite visualizar a produção publicada sobre a fitoquímica de briófitas e sua atividade biológica em testes com insetos quanto ao número de citação (individual e total) e tipo de acesso ao manuscrito, assim como informações sobre a revista ou *e-book* no qual o trabalho foi publicado e o seu respectivo fator de impacto.

Neste contexto, infere-se que o número de citações auferidas por um artigo consiste em um indicador da influência ou do impacto do seu conteúdo na comunidade científica da área, que usualmente desperta o interesse de cientistas e é referenciado frequentemente em trabalhos posteriores publicados na literatura internacional (Silva *et al.*, 2001). Diante disso, deve-se considerar que a maior quantidade de citação de um determinado artigo científico pode estar relacionada à credibilidade de pesquisador(es) especialista(s) no assunto e/ou pelo fato de ser um trabalho pioneiro e possuir a base metodológica para estudos futuros. Além disso, Garfield (2000) frisou que artigos publicados recentemente podem não ter tempo suficiente para ser citado por outros autores, o que pode ter nitidamente ocorrido com o trabalho de Ramírez *et al.* (2017), o qual, até então, não apresentou nenhuma citação.

Quanto ao acesso ao manuscrito, verificou-se que houve maior quantidade de trabalhos com acesso restrito (84,2%) quando comparado aos de *open access* (15,8%) (Tabela 1). Em geral, as revistas com acesso limitado, de certa forma, dificultam a circulação dos manuscritos no meio acadêmico-científico, pois grande parte dos pesquisadores não tem o acesso institucional ou condição financeira para pagar o *download*, sendo um impasse para que o mesmo possa usufruir de tais trabalhos, de importantes FI, em produções de sua autoria. Porém, ressalta-se que, nesta investigação, os artigos em *open access* foram pouco citados. Isso pode estar relacionado ao fato de que em áreas da Ciência de crescimento acelerado os pesquisadores tendem a citar as publicações científicas mais recentes, enquanto que nas de evolução mais lenta os trabalhos mais antigos são mais citados (Silva *et al.*, 2001), este último é o caso da linha de pesquisa sobre fitoquímica de briófitas e o seu efeito anti-insetos. No entanto, torna-se importante frisar que as diferenças em relação ao número de citações de trabalhos publicados por distintos pesquisadores não implicam necessariamente em uma

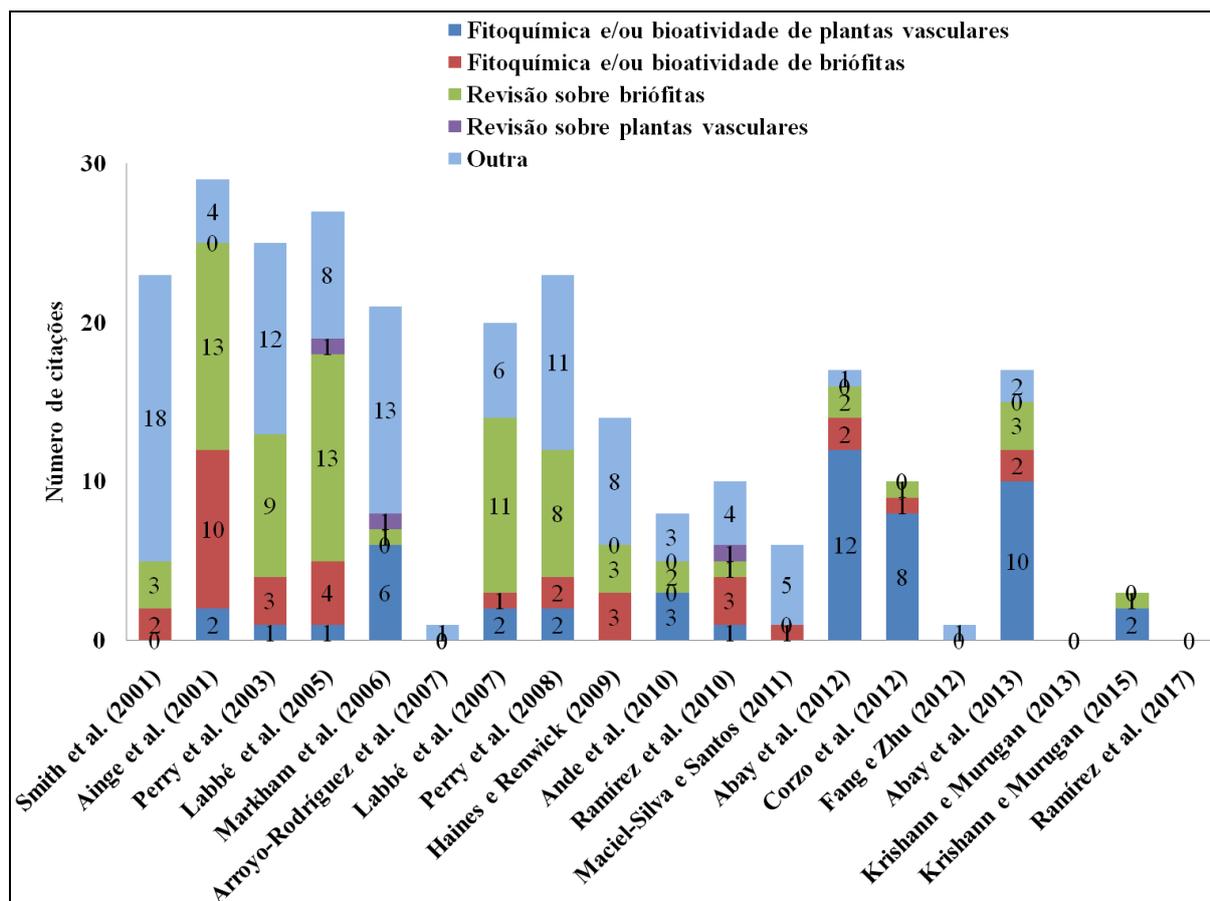
diferença no impacto dos artigos e na qualidade das pesquisas realizadas (Garfield, 2000), mas evidencia que cada estudo tem o seu valor e permite avanços em determinada área da Ciência e da tecnologia.

Quanto aos periódicos nos quais os referidos manuscritos foram publicados, estes somaram 15, cuja maioria apresentou fator de impacto (FI), sendo o mínimo de 1.195 e o máximo de 4.335, enquanto os demais não possuíam este indicador; e apenas um artigo foi publicado em um *e-book* (Tabela 1). *Journal of Natural Products* (FI: 3.779), *Journal of Bryology* (FI: 1.260) e *Chemistry & Biodiversity* (FI: 2.039) foram as únicas revistas com dois artigos publicados, cada uma. Neste caso, pode ser que os periódicos mais bem qualificados quanto ao FI tenham favorecido significativamente o número de citação dos respectivos artigos analisados neste estudo. O FI é uma boa ferramenta para a avaliação científica de periódicos (Garfield, 2000) e, geralmente, quanto maior o FI de uma revista maior a probabilidade de o artigo publicado ser citado, contribuindo com a disseminação rápida do conhecimento produzido em certa área da Ciência. Mas, para isso, deve-se considerar que: a) *review journals* tendem a ter FI maiores do que periódicos que publicam trabalhos científicos primários; b) as autocitações favorecem o alto número de citações de artigo/revista; c) artigos de áreas do conhecimento com elevado número de revistas têm mais chance de serem citados; d) mais números de revistas publicados por ano aumentam a probabilidade de citação de artigos, entre outros fatores (Pinto & Andrade, 1999; Fitzpatrick, 2003).

Sobre as temáticas dos trabalhos que citaram/referenciaram as publicações em análise, estas foram classificadas, em sua maioria, como ‘Outra’ (97), pois estavam relacionadas a diferentes assuntos, como: aspectos alimentares de insetos, ecologia de briófitas, avaliação de substâncias sintéticas inseticidas, química de seres vivos de outros reinos, evolução de plantas, etc.; seguido de revisões bibliográficas sobre a fitoquímica e/ou a bioatividade de compostos de briófitas (71); pesquisas diretas sobre os metabólitos secundários de vegetais vasculares e seus efeitos bioativos, entre eles, para o controle de insetos (51) e estudos fitoquímicos e de atividade biológica de briófitas para fins medicinais e farmacêuticos (33) (Figura 3). Ainda de acordo com a Figura 3, percebe-se que a categoria ‘revisão sobre plantas vasculares’ teve a menor ocorrência entre os trabalhos levantados, possivelmente, por causa do maior número de pesquisas diretas com os grupos vegetais traqueófitos e a bioatividade de seus compostos, pois há uma facilidade relativa em todo o processo da pesquisa, quando comparado ao das briófitas. Então, pode-se inferir que pesquisas diretas, geralmente, buscam citar ou referenciar estudos similares com o mesmo grupo vegetal. O artigo de Smith *et al.* (2001), em particular, foi o mais presente na categoria “Outra”, o que pode ser em razão da

maior abrangência desta pesquisa, permitindo que muitos estudos, por exemplo, sobre a ecologia de briófitas e de outros seres vivos e a briofagia por insetos e outros animais o contemplem.

Figura 3 – Classificação do número de citações por diferentes temáticas de estudos que referenciaram as publicações listadas sobre a fitoquímica de briófitas e a sua bioatividade contra insetos, durante o período de 2000 a 2020.



Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 3 indica a quantidade de citação que os 19 trabalhos encontrados sobre os testes de bioatividade de briófitas sobre insetos tiveram em outros estudos com temas correlatos ao assunto ou não.

3.2 Atualidades e perspectivas em biotecnologia de briófitas no controle de insetos-praga

Ao longo dos séculos, os briologistas sentiram que seus objetos de pesquisa (as briófitas) estavam sendo subestimados por cientistas que trabalhavam com animais, seres humanos ou angiospermas, mas, nas últimas décadas, notou-se uma mudança considerável deste paradigma à medida que as crescentes publicações de Jan-Peter Frahm e outros pesquisadores demonstravam a importância das briófitas devido a sua posição específica na evolução das plantas terrestres, alto potencial para a pesquisa aplicada com implicações no melhoramento vegetal e na saúde humana (Beike *et al.*, 2010). Neste item, buscou-se elencar algumas técnicas biotecnológicas direcionadas à brioprospecção de espécies de briófitas que podem atingir maior interesse comercial/industrial, como as supracitadas nos estudos levantados, mediante a validação da bioatividade de compostos contra insetos-praga, além de contribuir com a conservação da brioflora explorada nos processos comerciais/industriais. Essas metodologias são importantes para suportar a demanda de produtos naturais (briófitas e subprodutos derivados – extratos e óleos) exigida nas investigações científicas e nos negócios, visando à sustentabilidade ambiental e econômica. Diante disso, técnicas biotecnológicas, como as de engenharia genética, cultivo *in vitro* e a criopreservação de briófitas, podem ser viáveis para tal finalidade.

A) Técnicas de engenharia genética

No século XXI, estudos moleculares em plantas estão sendo direcionados para o conhecimento do genoma por sequenciamento de DNA em larga escala, a capacidade de gerar indivíduos transgênicos por transformação e a de criar nocautes de genes por recombinação homóloga, o que consiste em uma técnica extremamente poderosa para a análise funcional de muitos genes vegetais (Wood *et al.*, 2000). Por meio de técnicas de engenharia genética moderna agora é teoricamente possível manipular o genoma das plantas para dotá-las de características desejáveis para os seres humanos e, para isso, alguns dos usos mais interessantes em relação às briófitas estão surgindo, pois, ao longo de sua longa história evolutiva, a brioflora adquiriu um arranjo fisiológico que pode ser uma fonte substancial na medicina humana ou fornecer um banco de genes para sintetizar enzimas, proteínas, açúcares ou ácidos graxos para que as plantas de cultivos agrícolas sejam resistentes à seca, frio, diversas doenças e ataque de predadores (Glime, 2007). Neste contexto, genes de musgos tolerantes à seca, como o de *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber & D. Mohr, estão sendo

considerados no meio comercial para o transplante no tabaco, além de genes específicos para a produção de proteínas humanas e outras substâncias para fins farmacêuticos e, inclusive, os de anti-herbivoria, que estão sendo considerados para a transgenia e produção *in vitro* (Glime, 2007; Glime, 2017a).

Os musgos têm uma alta frequência de recombinação homóloga, o que se deve à geração gametofítica dominante dessas plantas, tornando-as únicas capazes de uma integração estável dos genes inseridos (Glime, 2017b). Neste sentido, um dos avanços da Genética, aliada às ferramentas de Biologia Molecular, são as técnicas sofisticadas para a análise de genes que controlam processos de desenvolvimento em espécies de plantas-modelo, com estudos pioneiros utilizando o musgo *P. patens*, no qual foi possível realizar a interrupção e a substituição direcionada de genes pela primeira vez em uma planta (Floyd & Bowman, 2009; Dittrichy *et al.*, 2012). A capacidade de gerar indivíduos transgênicos é viável em *P. patens*, sendo, até então, a única planta terrestre em que uma recombinação homóloga eficiente é conhecida, tornando-o cada vez mais importante como um modelo para a genética molecular, a fim de identificar e estudar as funções dos genes de desenvolvimento vegetal (Ashton *et al.*, 2000; Wood *et al.*, 2000). Este sistema-modelo surgiu para analisar mecanismos adaptativos de plantas ao estresse abiótico e à produção de substâncias bioativas, identificando os genes e caracterizando-os funcionalmente pelas abordagens da genética reversa (Beike *et al.*, 2010). Para isso, estes autores evidenciaram a existência de vários recursos para auxiliar o pesquisador, como o banco de dados ‘*Cosmoss*’ que permite uma triagem de genes de interesse no genoma de *Physcomitrella*, cuja análise comparativa com os genomas de outras plantas contribui para o entendimento da diversidade vegetal e química do Reino *Plantae*.

Em estudos genéticos relacionados ao controle de doenças, do musgo *P. patens* houve o isolamento, o sequenciamento e a identificação da primeira peroxidase, cujo tratamento experimental com quitosana induziu a liberação dessa enzima (classe III) para a atividade antifúngica (Lehtonen *et al.*, 2009). Essa briófito pode ser um útil sistema-modelo para desvendar funções genéticas voltadas para a interação patógeno-hospedeiro e tais estudos sobre resistência a doenças em plantas têm avançado bastante, pois *P. patens* pode ser induzido, por meio de ácido salicílico, a resistir à ação patogênica da bactéria *Pectobacterium carotovorum*, a qual ataca também plantas vasculares de importância agrícola (Andersson *et al.*, 2005), o que pode ser possível para a antibiose em insetos. Além disso, esse musgo foi induzido, na presença de *P. carotovorum* e do fungo *Botrytis cinerea* (patógeno da doença chamada podridão cinzenta), a ter uma resposta defensiva, evidenciado pela expressão aprimorada de genes relacionados à defesa de plantas: PR-1, PAL, CHS e LOX (Léon *et al.*,

2007). As briófitas possuem vários compostos químicos de interesse biotecnológico e biofarmacêutico e vários deles já foram isolados de diferentes espécies, porém, os mecanismos genéticos inerentes às atividades de antibiose ainda são amplamente inexplorados (Beike *et al.*, 2010).

Em um futuro próximo, a espécie *P. patens* poderá ser exaustivamente estudada com os seguintes objetivos: a) exportar a tecnologia para modelos de angiospermas, em longo prazo; b) ser uma plataforma para o estudo molecular detalhado de uma ampla variedade de genes de plantas, a qual é difícil de ser analisada em seus sistemas nativos ou que não tem fenótipo facilmente discernível; e c) auxiliar o entendimento sobre as complexas nuances bioquímicas deste e de outros processos cruciais (Wood *et al.*, 2000). Neste contexto, é importante dar destaque aos experimentos de biotecnologia vegetal que gradativamente vêm contribuindo com a denominada ‘Segunda Revolução Verde’, no século XXI, possibilitando, em particular, a geração de culturas agrícolas em grande quantidade e de alta qualidade, resistentes a doenças e ao ataque de insetos-praga por meio da engenharia genética para o melhoramento de culturas tradicionais, com mecanismos de defesa contra o estresse e com arquiteturas botânicas adequadas (Sakamoto & Matsuoka, 2004; Kutschera & Wang, 2012). Neste sentido, as briófitas podem ser recursos potenciais para o aprimoramento de plantas de uso agrícola.

Muitos estudos e ferramentas sobre os atributos moleculares das briófitas estão sendo desenvolvidos rapidamente, não somente com *P. patens*, mas também com os musgos *F. hygrometrica*, *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. e *S. ruralis*, podendo torná-los espécies em modelos experimentais ideais para a investigação de muitos processos genéticos vegetais (Wood *et al.*, 2000), incluindo para a compreensão de mecanismos de resistência a insetos-praga, pois a exploração de compostos anti-herbívoros produzidos por briófitas pode ser bastante lucrativa no que se refere à mudança de genes de plantas para o cultivo agrícola (Glime, 2017a). Um estudo de destaque, na área da Genética, sobre as defesas de briófitas contra insetos fitófagos foi desenvolvido por Krishnan e Murugan (2013) a fim de avaliar as proteínas de musgos e hepáticas com resistência a insetos, resultando em efeitos *antifeedant* e/ou inseticida e/ou inibidor de desenvolvimento normal para duas espécies de lepidópteros de importância econômica e comercial. Essas proteínas têm sido um dos maiores sucessos da aplicação tecnologia de engenharia genética de plantas para a agricultura e as briófitas parecem ser potencialmente ricas fontes de genes com resistência a insetos (Krishnan & Murugan, 2013).

B) Cultivo *in vitro* de briófitas

As briófitas são relativamente fáceis de serem cultivadas quando comparadas aos grupos vasculares de plantas e, para tanto, vários protocolos de iniciação e propagação foram publicados ao longo dos anos (Servettaz, 1913; Sabovljevic *et al.*, 2003; 2006; 2009; Cvetić *et al.*, 2005; Rowntree *et al.*, 2011). Isso ocorreu devido o fato de as culturas *in vitro* de briófitas serem mais econômicas, exigirem pouco espaço para o cultivo e por serem uma solução rápida e fácil para muitos problemas fundamentais de aplicação botânica de ordem fisiológica, genética, morfogenética e evolutiva (Bijelović; Sabovljevic, 2003; Sabovljevic *et al.*, 2009) e pela comprovação de inúmeros compostos briofíticos com bioatividade para diferentes fins, incluindo os anti-insetos (Asakawa, 2001; 2011; Asakawa *et al.*, 2012). Grande parte do entendimento sobre as necessidades nutricionais de briófitas resulta do cultivo *in vitro* em laboratório, porém, há poucas informações sobre o estabelecimento de culturas de suspensão de tecido de musgo destinadas a produzir metabólitos secundários que ocorrem naturalmente (Ruiz-Molina *et al.*, 2016; Glime, 2017d).

Neste contexto, muitos estudos sobre biotecnologia de briófitas se concentraram no musgo *P. patens*, com destaque, em especial, para a biossíntese de terpenóides e proteínas com aplicações farmacológicas, assim como de estudos genéticos e evolutivos (Baur *et al.*, 2005; Anterola *et al.*, 2009; Dittrich *et al.*, 2012; Ikram *et al.*, 2015; Reski *et al.*, 2015; Lang *et al.*, 2018). No mercado atual, uma empresa iniciante está cultivando *P. patens* para fins medicinais, pois as briófitas são capazes de aceitar genes humanos transferidos e expressá-los para produzir, em uma cultura líquida, anticorpos fáceis de serem colhidos, sendo estes imunogênicos, o que os tornam superiores às linhas celulares de mamíferos que usadas para esta finalidade (Zurich, 2009; Glime, 2017b). Os musgos em questão são cultivados em um biorreator, cujos ingredientes simples - água, minerais, CO² e luz - são necessários para manter o sistema ativo, apresentando vantagens, como: o cultivo sem antibióticos, evitando a contaminação do produto final e as grandes produções em laboratório facilitadas pelo pequeno tamanho do musgo, reduzindo a possibilidade de plantas transgênicas escaparem para o meio externo, e, sobretudo, pela geração gametofítica dominante (Glime, 2007).

Diante do exposto, nota-se a necessidade de transferir as técnicas utilizadas em *P. patens* para outras espécies com características diferentes e, a exemplo disso, um estudo com o musgo *Polytrichum juniperinum* Hedw. foi desenvolvido, gerando informações sobre a produção de metabólitos secundários de alto valor por meio do cultivo em suspensão do tecido do protonema, o qual foi considerado viável para o estabelecimento de processos

biotecnológicos em larga escala, considerando fatores-chave, como: meio de cultura, condição trófica, pH inicial, etc., e estudos adicionais de engenharia (Ruiz-Molina *et al.*, 2016). Existem ainda muitas possibilidades de produção de proteínas recombinantes em escala agrícola por meio de sistemas de cultivo molecular de plantas, que atenda à demanda de mercado, onde qualquer proteína [ou outra substância bioativa] pode ser produzida com baixo custo, rápida escalabilidade, ausência de patógenos humanos e a capacidade de dobrar e montar proteínas complexas com precisão (Ma *et al.*, 2003). Assim, vislumbra-se a possível síntese de compostos bioativos contra insetos diante da comprovação científica de compostos anti-herbivoria e da necessidade de pesticidas naturais em escala comercial. É sabido que muitos dos compostos secundários presentes nas briófitas são biologicamente ativos e, do ponto de vista evolutivo e ecológico, tais substâncias estão envolvidas na defesa de patógenos e na proteção contra infecções microbianas (Beike *et al.*, 2010) e herbívoros.

C) Criopreservação de briófitas

Neste viés exploratório que emana das briófitas e dos produtos metabólicos derivados, a criopreservação pode ser uma técnica complementar à bioprospecção, no sentido de salvaguardar espécies briofíticas de interesse econômico em reservas de germoplasma criopreservadas. Para Segreto *et al.* (2010) tal técnica consiste em repositórios de preservação *ex situ*, permitindo a futura reintrodução de espécies vegetais e, posteriormente, seu uso racional. No entanto, a maior parte das coleções *ex situ* é de sementes de angiospermas, negligenciando a vasta diversidade de plantas avasculares que existem na natureza, embora se tenham evidências de que a criopreservação também seja útil para o armazenamento de germoplasma de briófitas, resultando em altas taxas de sobrevivência e de regeneração de material gametofítico criopreservado por meio de um protocolo simples e promissor para várias espécies ameaçadas, cujos métodos podem ser altamente adequados para coleções semelhantes em todo o mundo (Rowntree & Ramsay, 2009).

Nesta técnica, a grande vantagem é a alta capacidade regenerativa dos gametófitos de briófitas, podendo existir como protonemas, além de que os mutantes dessas plantas geneticamente modificados em laboratório podem ser descongelados e voltar a crescer com sucesso, após uma década de criopreservação com nitrogênio líquido (Beike *et al.*, 2010; Segreto *et al.*, 2010). Assim, pode-se inferir que as ferramentas *in vitro* têm um papel importante a desempenhar para apoiar a conservação de espécies vegetais, inclusive as plantas avasculares, apesar de as instalações serem custosas para pequenos países e para os que têm

poucos recursos; e quando isso acontece, estas técnicas são voltadas principalmente para o cultivo de plantas comercialmente importantes (Sarasan, 2010). Então, faz-se necessária a formação de parcerias ativas entre países, centros de pesquisas, universidades, agricultores e outros trabalhadores para salvaguardar também as espécies da brioflora.

4. Conclusão

No século XXI poucas pesquisas internacionais foram desenvolvidas e/ou publicadas sobre a relação inseto-briófita e a sua potencialidade bioquímica para o desenvolvimento de defensivos agrícolas naturais, sendo incipiente no Brasil, mesmo diante de o país ser agrícola e acometido por uma gama de insetos-praga. Embora diminuto o número de publicações (artigos, notas científicas e capítulo de *e-book*), ao longo do período analisado, entre os países/continentes e suas instituições acadêmico-científicas, as pesquisas comprovaram cientificamente os impedimentos pré e pós-ingestivos de algumas espécies de briófitas, com ênfase em substâncias químicas responsáveis pelos efeitos *antifeedant* e/ou inseticida e/ou inibidor de desenvolvimento sobre lepidópteros, dípteros e coleópteros por meio de testes *in vivo*, com extratos ou com plantas *in natura*. Alguns países da América e da Ásia foram os que mais contribuíram, até então, para esta linha de pesquisa, divulgando os resultados em periódicos, com consideráveis fatores de impacto. Apesar de grande parte das publicações listadas terem o acesso restrito, esta produção está contribuindo, como referencial teórico para pesquisas experimentais ou revisões, para estudos afins em relação às plantas (a)vasculares e o entendimento e o desenvolvimento de pesticidas botânicos.

Diante de um grupo diversificado de espécies de briófitas, cerca de 24.000, apenas 0,2% da brioflora foram alvos de estudos de bioatividade sobre o desenvolvimento de insetos fitófagos e, em geral, apresentaram potencial biotecnológico para o controle populacional de pragas. Entretanto, a fitoquímica de briófitas e o uso das ‘armas químicas’ é uma área que ainda não agregou valor econômico suficiente para que os produtos briofíticos ocupem local de destaque na indústria, embora novas formas de aproveitamento desses potenciais recursos estejam sendo desenvolvidas ou atualizadas, como técnicas de engenharia genética, o cultivo *in vitro* e a criopreservação. Neste sentido, visando contribuir positivamente para a Segunda Revolução Verde e atribuir valor comercial aos compostos bioativos das briófitas no meio agrícola, reforça-se a necessidade de futuras pesquisas para a identificação dessas substâncias, incluindo novos compostos promissores; testes para a validação de suas atividades biológicas; estudos para a formulação de pesticidas à base de musgos e hepáticas, em sistema integrado

de pragas; métodos viáveis para a obtenção de biomassa de briófitas (matéria-prima), de forma sustentável, como por meio do cultivo *in vitro*; avanços na engenharia genética para o melhoramento de plantas agrícolas com base em genes anti-herbivoria presentes em briófitas; e a preparação de bancos de germoplasma criopreservado de plantas avasculares com potencial anti-insetos.

Referências

Abay, G., Karakoç, Ö. C., Tüfekçi, A. R., Koldaş, S. & Demirtas, I. (2012). Insecticidal activity of *Hypnum cupressiforme* (Bryophyta) against *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 51, 6-10.

Abay, G., Altun, M., Karakoc, O. C., Gul, F. & Demirtas, I. (2013). Insecticidal activity of fatty acid-rich Turkish bryophyte extracts against *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 16(10), 806-816.

Ainge, G. D., Gerard, P. J., Hinkley, S. F., Lorimer, S. D. & Weavers, R. T. (2001). Hodgsonox, a new class of sesquiterpene from the liverwort *Lepidolaena hodgsoniae*. isolation directed by insecticidal activity. *The Journal of Organic Chemistry*, 66(8), 2818-2821.

Ande, A. T., Wahedi, J. A. & Fatoba, P. O. (2010). Biocidal activities of some tropical moss extracts against maize stem borers. *Ethnobotanical Leaflets*, 14, 479-490.

Andersson, R. A., Akita, M., Pirhonen, M., Gammelgård, E. & Valkonen, J. P. (2005). Moss-Erwinia pathosystem reveals possible similarities in pathogenesis and pathogen defense in vascular and nonvascular plants. *Journal of General Plant Pathology*, 71(1), 23-28.

Anterola, A., Göbel, C., Hornung, E., Sellhorn, G., Feussner, I. & Grimes, H. (2009). *Physcomitrella patens* has lipoxygenases for both eicosanoid and octadecanoid pathways. *Phytochemistry*, 70, 40-52.

Arroyo-Rodríguez, V., Puyana-Eraso, J., Bernecker-Lücking, A. & Hanson, P. (2007). Observations of *Geranomyia recondita* (Diptera: Tipuloidea: Limoniidae) larvae feeding on epiphyllous liverworts in Costa Rica. *Entomologica Americana*, 114(3), 170-175.

Asakawa, Y. (1982). Terpenoids and aromatic compounds as chemosystematic indicators in Hepaticae and Anthocerotae. *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 53, 283-293.

Asakawa, Y. (1995). Chemical constituents of the bryophytes. In: *Progress in the Chemistry of Organic Natural Products*, Springer-Verlag/Wien. 562p.

Asakawa, Y. (1998). Biologically active compounds from bryophytes. *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 84, 91-104.

Asakawa, Y. (2001). Recent advances in phytochemistry of bryophytes - acetogenins, terpenoids and bis(bibenzyl)s from selected Japanese, Taiwanese, New Zealand, Argentinian and European liverworts. *Phytochemistry*, 56, 297-312.

Asakawa, Y. (2004). Chemosystematics of the Hepaticae. *Phytochemistry*, 65(6), 623-669.

Asakawa, Y. (2008). Liverworts-potential source of medicinal compounds. *Current Pharmaceutical Design*, 14, 3067-3088.

Asakawa, Y. (2011). Bryophytes: chemical diversity, synthesis and biotechnology. A Review. *Flavour and Fragrance Journal*, 26(5), 318-320.

Asakawa, Y., Ludwiczuk, A. & Nagashima, F. (2012). *Chemical constituents of bryophytes: bio-and chemical diversity, biological activity, and chemosystematics*. Springer Science & Business Media, 95, 773p.

Asakawa, Y.. (2013). Phytochemical and biological studies of bryophytes. *Phytochemistry*, 91, 52-80.

Asakawa, Y., Toyota, M., Takemoto, T., Kubo, I. & Nakanishi, K. (1980). Insect antifeedant secoaromadendrane-type sesquiterpenes from *Plagiochila* species. *Phytochemistry*, 9, 2147-2154.

Ashton, N. W., Champagne, C. E. M., Weiler, T. & Verkoczy, L. K. (2000). The bryophyte *Physcomitrella patens* replicates extrachromosomal transgenic elements. *New Phytologist*, 146(3), 391-402.

Athanassiou, C. G., Steenberg, T. & Kavallieratos, N. G. (2007). Insecticidal effect of diatomaceous earth applied alone or in combination with *Beauveria bassiana* and beta cyfluthrin against *Sitophilus granarius* on stored wheat. *IOBC/WPRS Bulletin*, 30(2), 25-36.

Bailly, N., Kirk, P. M., Bourgoïn, T., Walt, R. E., Decock, W., Wever, A., & Penev, L. (2019). *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life*. Leiden, Naturalis. Recuperado de <https://www.catalogueoflife.org/col/>.

Barbosa, F. S. & Carvalho, M. A. S. (2016). Análise cienciométrica da utilização de briófitas como bioindicadores. *Caderno de Pesquisa*, 28(1), 34-47.

Baur, A., Reski, R. & Gorr, G. (2005). Enhanced recovery of a secreted recombinant human growth factor using stabilizing additives and by co-expression of human serum albumin in the moss *Physcomitrella patens*. *Plant Biotechnology Journal*, 3(3), 331-340.

Beike, A. K., Decker, E. L., Frank, W., Lang, D., Vervliet-Scheebaum, M., Zimmer, A. D. & Reski, R. (2010). Applied bryology-bryotechnology. *Tropical Bryology*, 31, 22-32.

Bijelović, A. & Sabovljevic, M. S. (2003). Callus induction and plant regeneration in the moss *Aloina aloides* (Schultz) Kindb. (Pottiaceae, Bryopsida). *Archives of Biological Sciences*, 55(3-4), 77-80.

Buck, W. R. & Goffinet, B. (2000). Morphology and classification of mosses. In: Shaw, A. J., & Goffinet, B. (Eds.). *Bryophyte Biology*. Cambridge: Cambridge University Press. 71-123.

Carter, J. B. (1976). A survey of microbial, insect and nematode parasites of Tipulidae (Diptera) larvae in north-east England. *Journal of Applied Ecology*, 13(1), 103-122.

Chandra, S., Chandra, D., Barh, A., Pandey, R. K. & Sharma, I. P. (2017). Bryophytes: Hoard of remedies, an ethno-medicinal review. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(1), 94-98.

Chen, F., Ludwiczuk, A., Wei, G., Chen, X., Crandall-Stotler, B. & Bowman, J. L. (2018). Terpenoid secondary metabolites in bryophytes: chemical diversity, biosynthesis and biological functions. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 37(2-3), 210-231.

Corzo, F. L., Gilabert, M., Alcaide, M. F. & Bardón, A. (2012). Toxicity of *Porella chilensis* sesqui- and diterpenoids against larvae of the corn pest *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 41(5), 414-419.

Cvetić, T., Sabovljevic, M. S., Sabovljevic, A. & Grubišić, D. (2005). In vitro culture and apogamy: alternative pathway in the life cycle of the moss *Amblystegium serpens* (Amblystegiaceae). *Archives of Biological Sciences*, 57(4), 267-272.

Davidson, A. J., Harborne, J. B. & Longton, R. E. (1989). Identification of hydroxycinnamic acid and phenolic acids in *Mnium hornum* and *Brachythecium rutabulum* and their possible role in protection against herbivory. *The Journal of the Hattori Botanical Laboratory*, 67, 415-422.

Dittrich, A. C. N. & Devarenne, T. P. (2012). Characterization of a PDK1 homologue from the moss *Physcomitrella patens*. *Plant Physiology*, 158(2), 1018-1033.

Eisemann, C. H., Donaldson, R. A., Pearson, R. D., Cadogan, L. C., Vuocolo, T. & Tellam, R. L. (1994). Larvicidal activity of lectins on *Lucilia cuprina*: mechanism of action. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 72(1), 1-10.

Fang, Y. & Zhu, R. L. (2012). *Haplocladium microphyllum* (Hedw.) Broth. capsules as food for *Agrotis* sp. (Lepidoptera) larvae. *Journal of Bryology*, 34(2), 108-113.

Fitzpatrick, R. B. (2003). ISI's journal citation reports on the web. *Medical Reference Services Quarterly*, 22(4), 45-56.

Flora do Brasil (2020). *Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Recuperado de <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>.

Floyd, S. K. & Bowman, J. L. (2007). The ancestral developmental tool kit of land plants. *International journal of plant sciences*, 168(1), 1-35.

Frahm, J. P. (2004). Recent developments of commercial products from bryophytes. *The Bryologist*, 107(3), 277-283.

Frahm, J. P. & Kirchhoff, K. (2002). Antifeeding effects of bryophyte extracts from *Neckera crispa* and *Porella obtusata* against the slug *Arion lusitanicus*. *Cryptogamie. Bryologie*, 23(3), 271-275.

Gallo, D., Nakano, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R. P., Baptista, G. C. D., Berti Filho, E., & Marchini, L. C. (2002). *Entomologia agrícola*. Piracicapa: FEALQ, 920p.

Ganesh, P. S., Salunke, R. J. & Narayan, S. D. (2019). Phytochemical study of *Pterobryopsis* species & *Bryum coronatum* and study antioxidant activity of *Pterobryopsis* species. *Review of Research*, 8(6), 1-7.

Garfield, E. (2000). Use of journal citation reports and journal performance indicators in measuring short and long term journal impact. *Croatian Medical Journal*, 41(4), 368-374.

Gerard, P. J., Perry, N. B., Ruf, L. D. & Foster, L. M. (1993). Antifeedant and insecticidal activity of compounds from *Pseudowintera colorata* (Winteraceae) on the webbing clothes moth, *Tineola bisselliella* (Lepidoptera: Tineidae) and the Australian carpet. *Bulletin of Entomological Research*, 83(4), 547-552.

Glime, J. M. *Economic and ethnic uses of bryophytes* (2007). In: Flora of North America Editorial Committee. (eds.), Oxford University Press, New York, 27, 14-41.

Glime, J. M. (2017a). Household and personal uses. Chapt. 1-1. In: Glime, J. M. (2017) *Bryophyte Ecology*. Volume 5. Uses. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Recuperado de <http://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>.

Glime, J. M. (2017b). Medical uses: biologically active substances. Chapt. 2-2. In: Glime, J. M. (2017). *Bryophyte Ecology*. Volume 5. Uses. 2-2-1. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Recuperado de <http://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>.

Glime, J. M. (2017c). Technological and commercial. chapt. 6-1. In: Glime, J. M. (2017). *Bryophyte Ecology*. Volume 5. Uses. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Recuperado de <http://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>.

Glime, J. M. (2017d). Nutrients. In: Glime, J. M. (2017). *Bryophyte Ecology*. Volume 1. 8-1-1. Physiological Ecology. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Recuperado de <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology1/7>.

Haines, W. P., & Renwick, J. A. A. (2009). Bryophytes as food: comparative consumption and utilization of mosses by a generalist insect herbivore. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 133, 296-306.

Hill, D. S. (1983). *Agricultural insect pests of the tropics and their control*. (2a ed.), Cambridge: Cambridge University Press, 760p.

Hohemberger, R., Schwanke, C., de Góes Bilar, J. & Coutinho, R. X. (2019). A paleontologia na perspectiva do ensino. *Terrae Didatica*, 15, e019025-e019025, 1-9.

Ikram, N. K. B. K., Zhan, X., Pan, X. W., King, B. C. & Simonsen, H. T. (2015). Stable heterologous expression of biologically active terpenoids in green plant cells. *Frontiers in Plant Science*, 6, 129.

Krishnan, R. & Murugan, K. (2013). Evaluation of bryophyte protein-based defense against selected phytophagous insects. In: Sabu, A. & Augustine, A. (eds.). *Prospects in Bioscience: Addressing the Issues*, Springer, Índia, 19-32.

Krishnan, R. & Murugan, K. (2015). Insecticidal potentiality of flavonoids from cell suspension culture of *Marchantia linearis* Lehm. & Lindenb against *Spodoptera litura* F. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 6(2), 23-32.

Kruijt, R. C. H., Niemann, G. J., Koster, G. & Heerma, W. (1986). Flavonoids and aromatic hydroxy acids in Lejeuneaceae Subfamily Ptychanthoideae. *Cryptogamie, Bryologie, Lichenologie*, 7(2), 165-171.

Kutschera, U. & Wang, Z. Y. (2012). Brassinosteroid action in flowering plants: a Darwinian Perspective. *Journal of Experimental Botany*, 63(10), 3511-3522.

Labbé, C., Faini, F., Villagn, C., Coll, J. & Rycroft, D. S. (2005). Antifungal and insect antifeedant 2-Phenylethanol esters from the liverwort *Balantiopsis cancellata* from Chile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 247-249.

Labbé, C., Faini, F., Villagrán, C., Coll, J. & Rycroft, D. S. (2007). Bioactive polychlorinated bibenzyls from the liverwort *Riccardia polyclada*. *Journal of natural products*, 70(12), 2019-2021.

Lang, D., Ullrich, K. K., Murat, F., Fuchs, J., Jenkins, J., Haas, F. B., & Vives, C. (2018). The *Physcomitrella patens* chromosome-scale assembly reveals moss genome structure and evolution. *The Plant Journal*, 93, 515-533.

Lehtonen, T. M., Akita, M., Kalkkinen, N., Ahola-Iivarinen, E., Rönnholm, G., Somervuo, P., Thelander, M. & Valkonen, J. P. T. (2009). Peroxidase de musgo de liberação rápida em defesa contra invasores fúngicos. *New Phytologist*, 183(2), 432-443.

León, I. P., Oliver, J. P., Castro, A., Gaggero, C., Bentancor, M. & Vidal, S. (2007). *Erwinia carotovora* elicitors and *Botrytis cinerea* activate defense responses in *Physcomitrella patens*. *BMC Plant Biology*, 7(1), 1-11.

- Liao, C. (1993). Chemical defense in bryophytes with high apparency. *Ecology*, 75, 1-4.
- Ma, J. K., Drake, P. M. & Christou, P. (2003). The production of recombinant pharmaceutical proteins in plants. *Nature Reviews Genetics*, 4(10), 794-805.
- Macias-Chapula, C. A. (1998). O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. *Ciência da Informação*, 27(2), 134-140.
- Maciel-Silva, A. S. & Santos, N. D. D. (2011). Detecting herbivory in two mosses from an Atlantic Forest, Brazil. *Journal of Bryology*, 33(2), 140-147.
- Markham, K., Chalk, T. & Stewart-Junior, C. N. (2006). Evaluation of fern and moss protein-based defenses against phytophagous insects. *International Journal of Plant Sciences*, 167(1), 111-117.
- Ozturk, M., Gökler, İ. & Altay, V. (2018). Medicinal bryophytes distributed in Turkey. *Plant and Human Health*, 1, 323-348.
- Perry, N. B., Burgess, E. J., Foster, L. M. & Gerard, P. J. (2003). Insect antifeedant sesquiterpene acetals from the liverwort *Lepidolaena clavigera*. *Tetrahedron Letters*, 44(8), 1651-1653.
- Perry, N. B., Burgess, E. J., Foster, L. M., Gerard, P. J., Toyota, M. & Asakawa, Y. (2008). Insect antifeedant sesquiterpene acetals from the liverwort *Lepidolaena clavigera*. 2. Structures, artifacts, and activity. *Journal of Natural Products*, 71(2), 258-261.
- Pinto, A. C. & Andrade, J. B. D. (1999). Fator de impacto de revistas científicas: qual o significado deste parâmetro? *Química nova*, 22(3), 448-453.
- Ramírez, M., Kamiya, N., Popich, S., Asakawa, Y. & Bardón, A. (2010). Insecticidal constituents from the argentine liverwort *Plagiochila bursata*. *Chemistry & Biodiversity*, 7(7), 1855-1861.

Ramírez, M., Kamiya, N., Popich, S., Asakawa, Y. & Bardón, A. (2017). Constituents of the argentine liverwort *Plagiochila diversifolia* and their insecticidal activities. *Chemistry & Biodiversity*, 14(12), 1-8.

Reski, R., Parsons, J. & Decker, E. L. (2015). Moss-made pharmaceuticals: from bench to bedside. *Plant Biotechnology Journal*, 13(8), 1191-1198.

Rowntree, J. K. & Ramsay, M. M. (2009). How bryophytes came out of the cold: successful cryopreservation of threatened species. *Biodiversity and Conservation*, 18(5), 1413-1420.

Rowntree, J. K., Pressel, S., Ramsay, M. M., Sabovljevic, A. & Sabovljevic, M. (2011). In vitro conservation of european bryophytes. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 47 (1), 55-64.

Ruiz-Molina, N., Villalobos-López, M. Á. & Arias-Zabala, M. (2016). Protonema suspension cultures of the medicinal moss *Polytrichum juniperinum*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 52(4), 419-426.

Sabovljevic, A., Cvetic, T. & Sabovljevic, M. (2006). Establishment and development of the Catherine's moss *Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv. (Polytrichaceae) *in vitro* conditions. *Archives of Biological Sciences*, 58(2), 87-93.

Sabovljevic, A., Sabovljevic, M. & Jockovic, N. (2009). In vitro culture and secondary metabolite isolation in bryophytes. In: *Protocols for in vitro cultures and secondary metabolite analysis of aromatic and medicinal plants*. Humana Press, Totowa, NJ. p. 117-128.

Sabovljevic, M., Bijelovic, A. & Dragicevic, I. (2003). In vitro culture of mosses: *Aloina aloides* (KF Schultz) Kindb., *Brachythecium velutinum* (Hedw.) BS & G., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Eurhynchium praelongum* (Hedw.) BS & G. and *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm. *Turkish Journal of Botany*, 27(6), 441-446.

Sakamoto, T. & Matsuoka, M. (2004). Generating high-yielding varieties by genetic manipulation of plant architecture. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(2), 144-147.

Santos, P. L., Prando, M. B., Morando, R., Pereira, G. V. N. & Kronka, A. Z. (2013). Utilização de extratos vegetais em proteção de plantas. *Enciclopédia Biosfera*, 53(17), 2562-2576.

Santos, R. N. M. D. & Kobashi, N. Y. (2009). Bibliometria, cientometria, infometria: conceitos e aplicações. *Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação*, 2(1), p.155-172.

Sarasan, V. (2010). Importance of in vitro technology to future conservation programmes worldwide. *Kew Bulletin*, 65(4), 549-554.

Segreto, R., Hassel, K., Bardal, R. & Stenøien, H. K. (2010). Desiccation tolerance and natural cold acclimation allow cryopreservation of bryophytes without pretreatment or use of cryoprotectants. *The Bryologist*, 113(4), 760-769.

Servettaz, C. (1913). Recherches expérimentales sur le développement et la nutrition des mousses en milieux stérilisés. *Annales des sciences naturelles - Botanique et biologie végétale*, 17, 111-223.

Silva, J. A. D. & Bianchi, M. D. L. P. (2001). Cientometria: a métrica da ciência. *Paidéia*, 11(21), 5-10.

Singh, S. & Srivastava, K. (2013). Bryophytes as green brain: unique and indispensable small creature. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 23(2), 28-35.

Smith, R. M., Young, M. R. & Marquiss, M. (2001). Bryophyte use by an insect herbivore: does the crane-fly *Tipula montana* select food to maximise growth?. *Ecological Entomology*, 26(1), 83-90.

Todd, C. M. (1993). *The feeding ecology of certain larvae in the genus Tipula (Tipulidae, Diptera), with special reference to their utilisation of bryophytes*. Durham theses, Durham University. 241p.

Toyota, M., Koyama, H. & Asakawa, Y. (1997). Volatile components of the liverworts *Archilejeunea olivacea*, *Cheilolejeunea imbricata* and *Leptolejeunea elliptica*. *Phytochemistry*, 44(7), 1261-1264.

Trópicos (2020). *Missouri Botanical Garden*. Recuperado de <http://www.tropicos.org>.

Venturoso, L. R., Bacchi, L. M. A., Gavassoni, W. L., Conus, L. A., Pontim, B. C. A. & Bergamin, A. C. (2011). Atividade antifúngica de extratos vegetais sobre o desenvolvimento de fitopatógenos. *Summa Phytopathologica*, 37(1), 18-23.

Villalobos, M. J. P. (1996). *Plaguicidas naturales de origen vegetal: estado actual de la investigacion*. Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentacion. Madrid: Monografias INIA. 35p.

Warthen-Júnior, J. D., Redfern, R. E., Mills-Júnior, G. D. & Uebel, E. C. (1982). Antifeedant screening of thirty-nine local plants with fall armyworm larvae. *Journal of Environmental Science & Health Part A*, 17(6), 885-895.

Wood, A. J., Oliver, M. J. & Cove, D. J. (2000). Bryophytes como sistemas modelo. *The Bryologist*, 103(1), 128-133.

Xie, C. F. & Lou, H. X. (2009). Secondary Metabolites in Bryophytes: an Ecological Aspect. *Chemistry & Biodiversity*, 9, 303-312.

Zurich, E. T. H. (2009). *Biotechnology: engineered moss can produce human proteins*. ScienceDaily. Recuperado de <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/05/090510200001.htm>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Raynon Joel Monteiro Alves – 70%

Thyago Gonçalves Miranda – 15%

Ana Cláudia Caldeira Tavares-Martins – 15%