

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

**Perfil Fitoquímico e Atividade Inseticida de Extratos de  
Araruta (*Maranta arundinacea* L.)**

Autora: Renata do Nascimento Santos  
Orientador: Dr. Reginaldo Brito da Costa  
Coorientador: Dr. Vitor Brito



Campo Grande  
Mato Grosso do Sul  
Julho 2021

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

**Perfil Fitoquímico e Atividade Inseticida de Extratos de  
Araruta (*Maranta arundinacea* L.)**

Autora: Renata do Nascimento Santos  
Orientador: Dr. Reginaldo Brito da Costa  
Coorientador: Dr. Vitor Hugo Brito

"Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA, no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária da Universidade Católica Dom Bosco - Área de concentração: "Sustentabilidade Ambiental e Produtiva" Aplicada ao "Agronegócio e Produção Sustentável"



Campo Grande  
Mato Grosso do Sul  
Julho 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade Católica Dom Bosco  
Bibliotecária Mourâmise de Moura Viana - CRB-1 3360

S237p Santos, Renata dos Nascimento  
Perfil fitoquímico e atividade inseticida de extratos  
de araruta (*Maranta arundinacea* L.) / Renata do Nascimento  
Santos, sob orientação do Profº Dr. Reginaldo Brito  
da Costa e co-orientação do Profº Dr. Vitor Hugo dos  
Santos Brito. -- Campo Grande, MS : 2021.  
107 p.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade  
Agropecuária) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo  
Grande-MS, Ano 2021

Inclui bibliografias

1. Pragas agrícolas - Controle biológico. 2. Bioinseticida.  
3. Sustentabilidade agropecuária. I. Costa, Reginaldo  
Brito da. II. Brito, Vitor Hugo dos Santos. III. Título.

CDD: 632.603



UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO  
*Inspira o futuro*

## **Perfil Fitoquímico e Atividade Inseticida de Extratos de Araruta (*Maranta arundinacea* L.)**

**Autora:** Renata do Nascimento Santos

**Orientador:** Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa

**Coorientador:** Prof. Dr. Vitor Hugo dos Santos Brito

**TITULAÇÃO:** Mestre em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária

**Área de Concentração:** Sustentabilidade Ambiental e Produtiva

APROVADA em 09 de julho de 2021.

A presente defesa foi realizada por webconferência. Eu, Reginaldo Brito da Costa, como presidente da banca assinei a folha de aprovação com o consentimento de todos os membros, ainda na presença virtual destes.

Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa – UCDB

Prof. Dr. Vitor Hugo dos Santos Brito – UNIDERP

Profa. Dra. Karla Rejane de Andrade Porto – FACSUL

Prof. Dr. Eduardo Barreto Aguiar – UNIDERP

“Quando o homem aprender a respeitar  
até o menor ser da criação, seja animal ou vegetal,  
ninguém precisará ensiná-lo a amar seu semelhante”

Albert Schweitzer

Dedicado a todos os cientistas e trabalhadores da saúde, que foram incansáveis em seus esforços para vencer a pandemia de Covid-19 causada pelo novo Coronavírus (SARS-Cov-2).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois sem ele nada disso seria possível. Foi ele quem me confortou nos momentos mais difíceis, nesta missão de elaborar uma dissertação de mestrado, em meio à uma pandemia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos Programa de Suporte à Pós-graduação de Instituições de Ensino Particulares e Comunitárias (PROSUC).

Aos professores doutores Antonia Railda Roel, Karla Porto, Rosemary Matias, Claudia Andrea Lima Cardoso e Tiago Tognolli pela imprescindível ajuda, paciência, ensinamentos e pelo fornecimento de materiais para a obtenção dos resultados expostos no trabalho.

Ao Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa por ter aceitado a missão de ser meu orientador e por todo o apoio, dedicação e paciência. Obrigada por ouvir minhas lamentações, e sempre achar uma solução para todos os problemas.

Ao Prof. Dr. Vitor Brito por ser meu mentor na carreira acadêmica e ter me acompanhado desde a iniciação científica. Obrigada por todo o apoio, paciência, orientação e amizade. Você é um grande exemplo para mim.

Aos acadêmicos de iniciação científica Nathália Munari, Willy Rilston e Asser Botelho e aos meus colegas de pós-graduação Micaella Nogueira, Bruno Fines, Ana Caroline e Danielle Beatriz, por toda a ajuda e por tornarem os trabalhos no laboratório mais leves. Obrigada aos técnicos de laboratório Willow, Luan e Karen por toda a ajuda e disponibilidade. Agradeço também às minhas amigas Jeniffer Narcisa, Sheyla Barcelos e Beatriz Machado por sempre me incentivarem e pela enorme parceria no mundo da pesquisa.

Agradeço imensamente aos meus pais Valmir e Maria Dalva e a minha irmã Vanessa por todo o apoio, incentivo e amor, vocês são a minha maior motivação. Também agradeço ao meu noivo Jean, que sempre ouve minhas lamentações e me apoia acima de tudo, juntamente com a sua família. Obrigada aos demais familiares e amigos por terem me incentivado em mais essa jornada no meio acadêmico.

## Sumário

	Página
<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1 <i>Maranta arundinacea</i> (L.).....	4
2.2 Aspectos gerais de fitoquímica e metabolômica .....	9
2.3 Compostos secundários e o ambiente .....	14
2.4 Bioatividade dos metabólitos secundários .....	16
2.4.1 Propriedades medicinais.....	16
2.4.2 Propriedades nutricionais.....	18
2.4.3 Propriedades inseticidas.....	19
<b>4. REFERÊNCIAS</b> .....	23
<b>CAPÍTULO I: Eficácia inseticida de extratos de araruta (<i>Maranta arundinacea</i> L.) contra <i>Spodoptera frugiperda</i> e <i>Aedes aegypti</i> .....</b>	<b>39</b>
<b>RESUMO</b> .....	41
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	42
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	46
<b>RESULTADOS</b> .....	55
<b>DISCUSSÃO</b> .....	61
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	66
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	81



## LISTA DE TABELAS E QUADROS

	Página
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
<b>Quadro 1.</b> Constituintes fitoquímicos da araruta ( <i>Maranta arundinacea</i> L.).....	8
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>Tabela 1</b> Constituintes fitoquímicos dos extratos etanólicos de hastes (EH) e folhas (EF) de araruta ( <i>Maranta arundinacea</i> L.) .....	55
<b>Tabela 2</b> Composição química obtida por análise LC-PDA dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta ( <i>Maranta arundinacea</i> L.) .....	56
<b>Tabela 3</b> Efeito dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta ( <i>Maranta arundinacea</i> L.) na concentração de 1 mg mL <sup>-1</sup> sobre a evolução do ciclo biológico de <i>Spodoptera frugiperda</i> .....	59
<b>Tabela 4</b> Efeito dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta ( <i>Maranta arundinacea</i> L.) na concentração de 500 µg mL <sup>-1</sup> sobre a evolução do ciclo biológico do <i>Aedes aegypti</i> .....	59
<b>Tabela 5</b> Atividade inibidora da colinesterase sérica (ChE) dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta ( <i>Maranta arundinacea</i> L.).....	60

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
<b>Figura 1.</b> Distribuição fitogeográfica de acessos autóctones de <i>M. arundinacea</i> .....	5
<b>Figura 2.</b> Características fenotípicas morfológicas das (A) hastes, (B) folhas, (C) flores e (D) rizomas de oito acessos denominados ararutas autóctones do Brasil. <i>Maranta arundinacea</i> - comum (com), amazonas (ama), redonda (red), guadalupe (gua), santa catarina (stc), seta (set), <i>Maranta ruiziana</i> - araruta-bambu (aba) e <i>Myrosma cannifolia</i> - ovo de pata (opt).....	13
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>Fig 1</b> Cromatograma de LC-PDA dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta ( <i>Maranta arundinacea</i> L.).....	57
<b>Fig 2</b> Efeito dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta ( <i>Maranta arundinacea</i> L.) em diferentes concentrações com aplicação tópica sobre <i>S. frugiperda</i> .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS

CENARGEM: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia  
EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
PUC: Pontificia Universidad Católica de Chile  
UCDB: Universidade Católica Dom Bosco  
UEMS: Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Uniderp: Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal  
FAO: Food Agriculture Organization  
OPAS: Organização Pan Americana de Saúde  
BBCH: Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt und Chemische Industrie  
CG/MS: Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas  
CL/MS: Cromatografia Líquida acoplada a Espectrometria de Massas  
CL/RMN: Cromatografia Líquida de Ressonância Magnética Nuclear  
HPLC: High Performance Liquid Chromatography  
ChE: Colinesterase  
DNA: Ácido Desoxiribonucleico  
Bt: *Bacillus thuringiensis*  
IgG: Imunoglobulina G  
IgA: Imunoglobulina A  
IgM: Imunoglobulina M  
DENV: Vírus da Dengue  
CHIKV: Chikungunya  
ZKV: Zica Vírus  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Peróxido de Hidrogênio  
NO: Óxido Nítrico  
N: Nitrogênio  
P: Fósforo  
K: Potássio

NaHCO<sub>3</sub>: Bicarbonato de Sódio

pH: Potencial Hidrogeniônico

PVC: Policloreto de Vinila

DTNB: Ácido 5,5-ditiobis-2- nitrozóico

DDT: Diclorodifeniltricloroetano

DL: Dose Letal

CL: Concentração Letal

UI: Quantidade de enzima que hidrolisa um  $\mu\text{mol}$  de substrato/minuto/mL

nm: Nanômetros

mg: Miligramas

g: Gramas

$\mu\text{mol}$ : Micromol

m: Metros

cm: Centímetros

$\text{cm}^3$ : Centímetros Cúbicos

mm: Milímetros

L: Litros

mL: Mililitros

$\mu\text{L}$ : Microlitros

$\mu\text{g}$ : Microgramas

h: Horas

$\text{mg mL}^{-1}$ : Miligramas por Mililitros

$\mu\text{g mL}^{-1}$ : Microgramas por Mililitros

$\text{mg L}^{-1}$ : Miligramas por Litro

## RESUMO

A araruta (*Maranta arundinacea* L.) é uma espécie vegetal cultivada, que vem sendo estudada devido as potencialidades técnico-funcionais de seu amido, entretanto, o mesmo não acontece com o empirismo relacionado as outras utilizações. As bioatividades das plantas são em sua maioria atribuídas aos metabólitos secundários e neste sentido, informações sobre os aspectos metabólicos e a aplicabilidade desses compostos presentes nesta espécie são escassas. Assim, o presente trabalho teve por intuito elucidar os compostos secundários presentes na espécie através de estudos fitoquímicos e metabolômicos, buscando, possíveis propriedades e aplicações de interesse econômico e sustentável. Com isso, o Capítulo I aborda a composição fitoquímica e metabolômica do acesso “comum” de araruta, o mais cultivado na maior parte do Brasil, testando a eficácia inseticida dos seus extratos em relação a praga agrícola *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e ao vetor de doenças urbanas *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). Foi possível identificar a presença dos compostos rutina e quercetina nos extratos das hastes e folhas, além de ácido clorogênico e rosmarínico no extrato das folhas, componentes que apresentam efeitos inseticidas já comprovados. Para avaliar a segurança no uso dos extratos, o teste de atividade de inibição enzimática do extrato frente a colinesterase sérica foi avaliado e, os resultados estão dentro do padrão de normalidade, ou seja, os extratos não indicaram atividade neurotóxica aos mamíferos e outros organismos não-alvo. Os testes de atividade bioinseticida com aplicação tópica realizado em *S. frugiperda* não tiveram níveis de mortalidade significativos, em 24 horas de exposição, entretanto, os extratos atuaram diretamente no peso das pupas, mortalidade, oviposição e inviabilizaram completamente a eclosão dos ovos nos ensaios via oral. Para *A. aegypti* os extratos interferiram no desenvolvimento larval, pupal e na emergência de adultos. Estes resultados confirmam a atividade inseticida dos extratos de araruta, chamando a atenção para a diversificação de usos da espécie.

**Palavras-chave:** Praga, Vetor, Bioinseticida, Bioatividade, Metabolismo secundário.

## ABSTRACT

Arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) is a cultivated plant species, which has been studied due to the technical-proportional potential of its starch, however, the same does not happen with empiricism related to other uses. The bioactivities of plants are mostly attributed to secondary metabolites and in this sense, information about the metabolic aspects and the applicability of these compounds present in this species are scarce. Thus, the present work aimed to elucidate the secondary compounds present in the species through phytochemical and metabolomic studies, looking for possible properties and applications of economic and sustainable interest. Thus, Chapter I addresses the phytochemical and metabolomic composition of the "common" arrowroot access, the most cultivated in most of Brazil, testing the insecticidal efficacy of its extracts against the agricultural pest *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and the vector of urban diseases *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). It was possible to identify the presence of the compounds rutin and quercetin in the stem and leaf extracts, as well as chlorogenic and rosmarinic acid in the leaf extract, components that have proven insecticidal effects. To assess the safety in the use of the extracts, the enzyme inhibition activity test of the extract against serum cholinesterase was evaluated and the results are within the normal range, that is, the extracts did not indicate neurotoxic activity to mammals and other non-organisms. -target. The bioinsecticide activity tests with topical application carried out on *S. frugiperda* did not have base levels in 24 hours of exposure, however, the extracts acted directly on the pupae weight, mortality, oviposition and completely prevented the hatching of eggs in the tests via oral. For *A. aegypti* the extracts interfered with larval and pupal development and adult emergence. These results confirm an insecticidal activity of arrowroot extracts, drawing attention to the diversification of uses of the species.

**Palavras-chave:** Pest, Vector, Biopesticide, Bioactivity, Secondary Metabolism.

## 1. INTRODUÇÃO

O agronegócio tem se reinventado a cada ano e mesmo com os problemas sanitários ocasionados pela pandemia de COVID-19 provocado pelo novo Coronavírus (SARS-COV-2), os dados da Confederação Nacional da Agricultura (CNA), mostram que em 2020 houve crescimento em todos os seus seguimentos. O resultado foi uma participação de 26,6% do PIB nacional, que em valores monetários, chega a aproximadamente 2 trilhões de reais. Tal resultado é influenciado pela geração e uso de novas tecnologias no setor. Desde a Revolução Verde, a implementação de novas tecnologias na agropecuária tem sido de fundamental importância para a expansão de sua capacidade produtiva. Mais recentemente a Revolução Tecnológica 4.0, conhecida pela adoção de equipamentos sofisticados ligados a era digital, além do desenvolvimento de pesquisas em bioinformática, biotecnologia, entre outros, implementou novas perspectivas de crescimento do setor.

Por outro lado, mesmo com o avanço da tecnologia, observam-se poucas pesquisas envolvendo cultivos de espécies tuberosas produtoras de amido. Dentre as amiláceas, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é a responsável pela manutenção mercadológica do amido de tuberosas no Brasil. Os consumidores têm procurado cada vez mais produtos diferenciados, deixando clara a necessidade de renovação nesse quesito. Dessa forma, o setor agroindustrial vem apresentando frequentes inovações, seja alterando as propriedades de produtos já existentes, ou resgatando culturas tradicionais que possuem um apelo nutricional saudável, em uma perspectiva tecnológica sustentável. O que impulsiona a utilização de amiláceas nativas, que podem agregar valor aos produtos e serviços do setor, além de impulsionar o cultivo de espécies subutilizadas.

Neste sentido, a araruta (*Maranta arundinacea* L.) possui um grande potencial de utilização, especialmente por possuir um amido com características singulares de digestibilidade e estruturação de produtos elaborados. Além disso, existe uma tradição

sobre as suas propriedades medicinais, o que pode chamar a atenção das indústrias alimentares, agroquímicas e farmacêuticas. Há relatos na literatura, em que os ameríndios exploravam as propriedades bioativas da araruta, utilizando extratos da planta como antídotos contra peçonhas de serpentes, além disso, a espécie é empregada na etnomedicina brasileira e asiática até hoje.

Os efeitos bioativos das plantas, na maioria das vezes, estão correlacionados aos seus metabólitos bioativos. Para a identificação e quantificação precisa desses compostos, é utilizada a metabolômica, que através de aparelhos e metodologias sofisticadas, consegue atingir os objetivos de pesquisas da área. Esta tecnologia é amplamente utilizada nas indústrias farmacêuticas e possui um grande potencial de aplicação para o conhecimento da biofuncionalidade das espécies agricultáveis. Dessa forma, a ciência metabolômica também pode ser direcionada ao melhoramento genético, segurança alimentar e preservação ambiental.

Existe uma variação na biossíntese de compostos bioativos em função de estímulos ambientais como o estresse causado por intempéries climáticas, ou pelo ataque de herbívoros. Neste sentido, sabe-se que a espécie *M. arundinacea* é bastante tolerante e/ou resistente ao ataque de pragas, mas não existem estudos que comprovem essa característica, ou qualquer atividade inseticida da planta. Apesar de ser cultivada há muito tempo, informações sobre estudos genéticos e fisiológicos dessa espécie ainda são escassas.

Dessa forma, a realização de estudos relacionados as características metabólicas da espécie, podem esclarecer os seus aspectos produtivos, a fim de contribuir para a geração de conhecimento sobre seus possíveis usos, como a formulação de inseticidas botânicos, medicamentos e outros produtos de importância econômica.



## 2. OBJETIVOS

### Objetivo geral

Realizar estudos fitoquímicos e metabolômicos do acesso de araruta “comum” (*Maranta arundinacea* L.), na perspectiva de elucidação das propriedades bioinseticidas presentes nos extratos da parte aérea da planta.

### Objetivos específicos

- Avaliar o perfil metabolômico e fitoquímico de extratos das hastes e folhas do acesso de araruta “comum”.
- Determinar o potencial inseticida dos extratos das hastes e folhas do acesso “comum” de araruta, frente a *Spodoptera frugiperda* e *Aedes aegypti*.
- Testar a atividade inibidora dos extratos da parte aérea da espécie, frente a colinesterase sérica.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

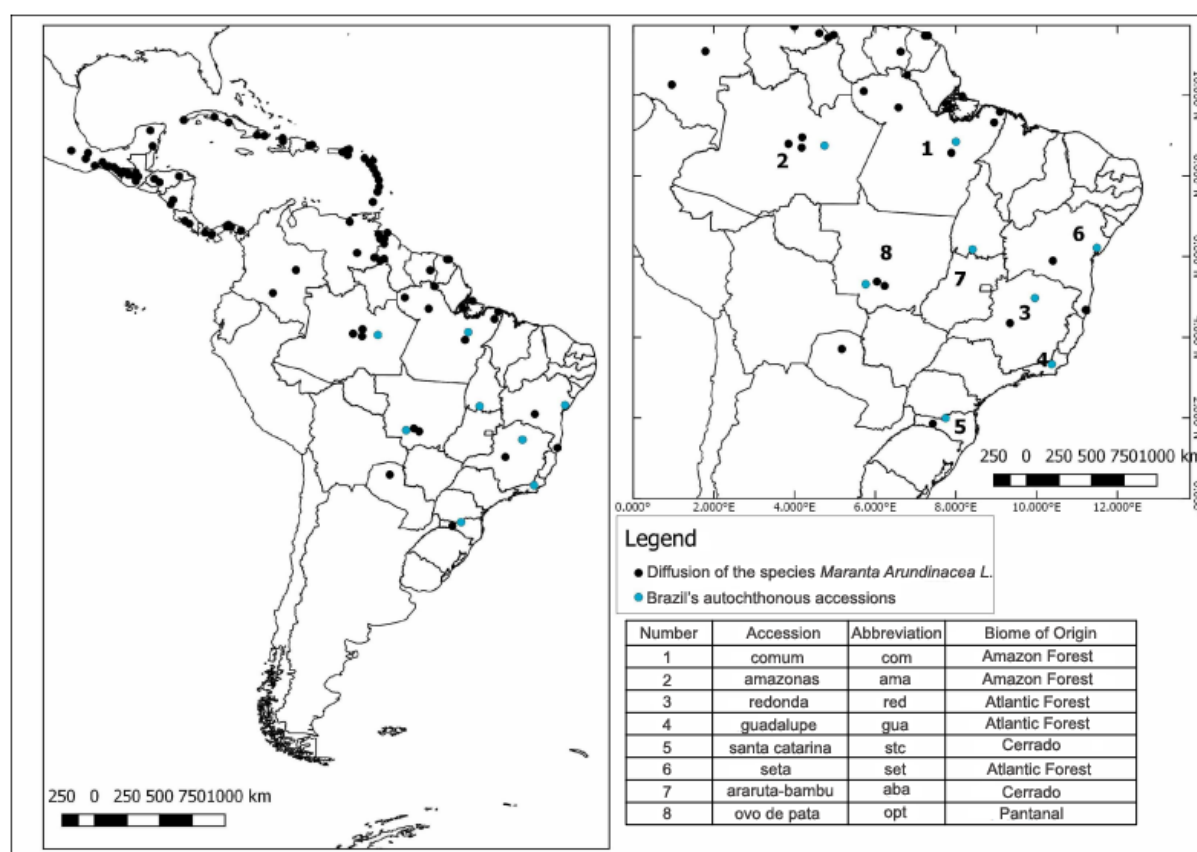
#### 2.1 *Maranta arundinacea* (L.)

A araruta, *M. arundinacea* é uma planta herbácea, pertencente a ordem Zingiberales e a família *Marantaceae* que produz rizomas amiláceos de formato fusiforme. As plantas de araruta podem variar de 0,6 a 2 metros de altura e seus rizomas de 10 a 30 cm de comprimento (MONTEIRO e PERESSIN, 2002; FERRARI et al., 2005; REDDY, 2015). Suas flores são brancas e pequenas, ocorrendo nas extremidades das hastes, porém nas condições tropicais caracteriza-se pelo pouco ou nenhum florescimento, sendo uma planta de ciclo anual e comportamento reprodutivo alógamo (Figura 2) (PIO CORRÊA, 1984; TAIZ e ZEIGER, 2004; MARTINS, 2005). Os frutos são raros, caracterizados como cápsulas ovais indeiscentes de coloração que varia do vermelho ao marrom, medindo cerca de 8 mm, com sementes ariladas de coloração castanha (REDDY, 2015).

A nomenclatura do gênero *Maranta* é uma homenagem atribuída ao médico e botânico de origem italiana, Bartolomeu Maranti (1500-1571). Estão catalogadas 34 espécies, pertencentes ao gênero, sendo a *M. arundinacea* a mais conhecida e valorizada economicamente. O rizoma amiláceo é o órgão comestível da planta, que pode ser consumido assado, ou cozido, mas o seu principal uso é para a extração de amido, que é extremamente valorizado comercialmente (ANDERSSON, 1986; ERDMAN, 1986; COSTA et al., 2008; REDDY, 2015; BRITO et al., 2020).

O centro de origem da espécie *M. arundinacea* era incerto e gerou muitas divergências no decorrer dos anos, devido à grande disseminação da espécie tanto nas Américas, quanto na Ásia. Entretanto, estudos mais recentes confirmaram a distribuição de espécies da família *Marantaceae* por meio de paleoarqueologia e taxonomia, e assim foi estabelecido que o gênero *Maranta* (L.) possui dispersão neotropical, sobretudo nas Américas Central e do Sul (Figura1) PERNO, 1985; ANDERSSON, 1986; PIPERNO et al., 2000; ANDERSSON e CHASE, 2001;

CHANDLER-EZELL et al., 2005; DICKAU et al., 2007; PICKERSGILL, 2007; PIPERNO et al., 2009; DUNCAN et al., 2009). O cultivo da araruta foi disseminado mundialmente, sendo encontrado nos Estados Unidos, Austrália, África e em países asiáticos, principalmente, China, Índia, Tailândia e Indonésia, que se tornaram grandes produtores desta espécie (LIM, 2015; GUILHERME et al., 2018; BRITO et al., 2020).



**Figura 1** Distribuição fitogeográfica de acessos autóctones de *M. arundinacea*.

**Fonte:** Brito (2019).

A araruta é uma planta neotropical, por isso, desenvolve-se bem em climas quentes e úmidos, como os de algumas regiões produtoras, que estão supracitadas. Sua temperatura ótima de crescimento é entre os 20 e 30 °C, com um índice pluviométrico necessário de 1500 a 2000 mm mensais, desenvolvendo-se bem do nível do mar até uma altitude de 900 m e em solos leves, bem drenados e de média acidez (REDDY, 2015), ainda que estes dados sejam contestados, uma vez que não

foram realizadas avaliações fitotécnicas para a espécie. Os dados produtivos da araruta são incertos, pois se trata de uma amilácea que não é cultivada de maneira intensiva, a maior parte de sua produção é realizada em pequenas propriedades, associadas à agricultura familiar, ou seja, em pequena escala. Todavia, mesmo com a escassez de dados disponíveis, a espécie não corre risco de extinção, entretanto, a *Food Agriculture Organization* (FAO) insere a amilácea no rol de culturas negligenciadas (GUILHERME et al., 2018; BRITO et al., 2020).

Uma grande diversidade de espécies amiláceas tropicais vem apresentando características aplicáveis em vários segmentos industriais, o que pode impulsionar o cultivo de algumas espécies subutilizadas. Entre essas está a *Maranta arundinacea* (L.), que é evidenciada por possuir um amido com características singulares de estruturação e digestibilidade, além das propriedades medicinais em suas folhas e rizomas, relatadas desde tempos imemoriais, conferindo um alto valor agregado aos produtos industriais provenientes dessa cultura (SHANTHAKUMARI et al., 2007; REGO et al., 2016; BRITO, 2019; BRITO et al., 2020).

A araruta já foi amplamente cultivada no Brasil, mas perdeu espaço para outras culturas amiláceas, como a mandioca e o milho, que são matérias-primas da produção de amido a nível industrial (SILVA et al., 2000). O mercado de amido é dividido em duas vertentes: o mercado de *commodities* e o diferenciado. O primeiro representa os produtos padronizados que podem ser encontrados em grandes quantidades mundialmente durante todo o ano. O segundo engloba amidos especiais, sazonais e com características valorizadas em determinados usos, permitindo a comercialização com preços mais altos (GUILHERME et al., 2019).

A produção mundial de amido cresceu significativamente nos últimos anos, passando de 60 milhões de toneladas em 2007, para 90 milhões de toneladas, considerando o mercado de *comodities* em 2017 (MANINGAT et al., 2009; FAO, 2017). As principais matérias-primas utilizadas para a fabricação de amido mundialmente são a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), o trigo (*Triticum aestivum* L.), a batata (*Solanum tuberosum* L.) e o milho (*Zea mays* L.), que representa mais de 75% da produção mundial (CEREDA, 2001; WATERSCHOOT et al., 2015; TEAGASC, 2017; VILPOUX et al., 2017).

A mandioca é uma amilácea nativa da América do Sul e 70% da produção de amido das indústrias brasileiras, provém dessa matéria-prima. É inevitável comparar o amido de araruta, ao de mandioca, sendo esse o seu principal concorrente mercadológico (VILPOUX et al., 2017; VILPOUX, 2003). As raízes de mandioca possuem em média 31% de amido, enquanto o rizoma fresco de araruta contém de 20 a 33%. Apesar da porcentagem de amido ser maior nas raízes de mandioca, o valor de comercialização do amido de araruta é superior (LEONEL e CEREDA, 2002; CEREDA e VILPOUX, 2003; EBDA, 2013; BRITO, 2019).

Os poucos cultivos de araruta existentes e a dificuldade em encontrar amido de araruta que não seja uma falsificação (misturas entre amidos de outras amiláceas), acabam contribuindo ainda mais para os elevados preços de seu amido (GUILHERME et al., 2018). Além disso, as propriedades técnico-funcionais do seu amido são algumas das características que impulsionam o cultivo da amilácea (BRITO et al., 2020). Este subproduto possui caracteres físico-químicos de interesse que estão associados aos atributos de leveza e maciez, fornecendo alta trabalhabilidade para pastas e géis, o que lhe proporciona clareza, fluidez e firmeza após o resfriamento, características extremamente valorizadas na área da confeitaria fina (CHARLES et al., 2016; AYALA-VALENCIA et al., 2015; BRITO et al., 2019).

Além do potencial uso na confeitaria (PIRIYAPRASARTH et al., 2010) também verificaram, que o amido de araruta poderia ser aplicado como agente de suspensão comercial em formulações de fármacos. Sua atividade de suspensão é comparável à da carboximetilcelulose de sódio, um polímero muito utilizado na suspensão de medicamentos (ODEKU, 2012). Entretanto, a utilização da araruta na área medicinal, é bem mais ampla. Existem relatos que os ameríndios empregavam a espécie como antiofídico contra peçonhas de animais e flechas envenenadas (HANDLER, 1971), no entanto esta situação não foi comprovada cientificamente. Além disso, a planta possui histórico de uso na medicina tradicional, sendo utilizada como fonte de cálcio e no tratamento de indigestão, diarreia e infecções urinárias (SHANTHAKUMARI et al., 2007; REGO et al., 2016). É também relatada por apresentar atividade antioxidante, efeito hipolipemiante (NISHAA et al., 2012; DAMAT, 2012) e uma potencial fonte de prebióticos, sendo também preparados chás em infusão com folhas e/ou rizomas da planta (HARMAYANI et al., 2011; REGO et al., 2016).

As atividades biológicas citadas na literatura podem estar diretamente ligadas aos compostos fitoquímicos presentes na *M. arundinacea*. A identificação correta das espécies é fundamental antes da sua utilização com fins medicinais, ou mesmo, para a realização de pesquisas. O *screening* fitoquímico realizado por Rajalakshmi et al., (2016) demonstrou que havia presença de esteroides, terpenos, carboidratos, alcaloides, fenólicos, flavonoides, taninos, saponinas, quinona e cumarina em extratos etanólicos dos rizomas de araruta. Além disso, os autores discutem seus resultados de acordo com o trabalho de Lee e Chang, (2011), que relatam a presença dos compostos genisteína e daidzeína, nos rizomas da espécie, compostos conhecidos por proporcionar o aumento da força óssea e a melhoria de artrites. Entretanto os autores cometeram um equívoco, pois a espécie abordada é *Pueraria lobata* e não *M. arundinacea* (BRITO et al., 2020).

Estes compostos bioativos produzem reações fisiológicas benéficas ao corpo humano, caracterizando-os com potencial medicinal ou nutracêutico (RUBA e MOHAN, 2013; WINK, 2015). Os fitoquímicos com atributos medicinais podem ser derivados de qualquer parte do vegetal, assim são amplamente empregados em tratamentos de diversas enfermidades (CRAGG & NEWMAN, 2001), além de servir como base para o desenvolvimento de moléculas sintéticas na indústria farmacêutica e até agroquímica (IVANOVA et al., 2005; HOSSEINZADEH, 2015).

Um apanhado dos *screenings* disponíveis na literatura para *M. arundinacea* foi realizado por Brito et al. (2020), a partir dos estudos realizados foi confirmada a presença de alcaloides, glicosídeos, esteróis, compostos fenólicos, taninos, terpenoides, saponinas e flavonas nos rizomas da espécie (Quadro 1) (NISHAA et al., 2013; SHINTU et al., 2015).

**Quadro 1** Constituintes fitoquímicos encontrados nos rizomas de araruta (*Maranta arundinacea* L.).

Compostos presentes	Jayakumar e Suganthi (2012)		Shintu et al. (2015)				Rajalakshmi et al. (2016)
	Metanol	Água	Éter	Cloro-fórmio	Metanol	Água	Etanol
Alcaloides	+	+	-	-	+	-	-
Cumarina	na	na	na	na	na	na	-
Esteroides	+	-	+	+	-	-	-

Fenólicos	+	+	-	-	+	+	-
Flavonas	na	na	-	-	+	-	na
Flavonoides	+	-	-	-	-	-	-
Flavononas	na	na	-	-	+	-	na
Goma	na	na	-	-	-	-	na
Glicosídeos	+	+	+	+	+	+	na
Quinona	-	-	-	-	-	-	-
Saponinas	+	+	+	+	+	-	-
Terpenoides	+	+	+	+	+	-	-
Taninos	+	-	-	-	+	-	-

(+) presente; (-) ausente; (na) não avaliado.

Algumas classes de compostos encontrados nos rizomas da araruta, especialmente os flavonoides, podem apresentar efeito na saúde humana (Wang et al., 2017). Substâncias quimicamente ativas presentes nas plantas de araruta, produzem reações fisiológicas benéficas ao corpo, como atividade imunoestimulatória, aumentando os níveis séricos de imunoglobulinas IgG, IgA e IgM e atividade antioxidante frente a peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), óxido nítrico (NO) e 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) (KUMALASARI et al., 2012; GOPALAKRISHNAN et al. 2012; RUBA e MOHAN, 2013; WINK, 2015; KUSBANDARI e SUSANTI, 2017). Para a melhoria do entendimento dos compostos fitoquímicos, torna-se necessário estudos mais aprofundados, especialmente por técnicas mais sofisticadas, elucidando assim as potencialidades dos extratos vegetais.

## 2.2 Aspectos gerais de fitoquímica e metabolômica

O metabolismo das plantas envolve compostos químicos que podem ser divididos em primários e secundários. Os metabólitos primários correspondem aos compostos que participam das atividades biológicas essenciais para a manutenção da vida dos organismos, como os carboidratos, proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos. Já os metabólitos secundários são substâncias químicas acessórias que podem estar presentes, ou não, em determinados organismos (BRAZ-FILHO, 2010). Apesar disso, os metabólitos secundários são parte fundamental do indivíduo que os contém, pois correspondem aos produtos finais dos processos regulatórios da célula, e sua presença representa a resposta dos sistemas biológicos às alterações ambientais ou genéticas (FIEHN, 2002; CROZIER et al., 2006; RENBERG et al., 2010). Os

metabólitos primários e secundários formam a identidade química das plantas, que também é denominado de metaboloma (WISHART, 2008; KIM et al., 2011).

Os metabólitos secundários são originados a partir de quatro vias biossintéticas são elas a via mevalonato, chiquimato, acetato e a via mista (duas vias que sintetizam o mesmo composto). Além disso, os metabólitos são classificados em três grupos principais, de acordo com a sua estrutura química, são eles os terpenos sintetizados a partir da via mevalonato, os compostos fenólicos como os fenilpropanoides originados da via chiquimato e os flavonoides sintetizados em via mista e os compostos nitrogenados como os alcaloides, glicídeos, glicosinolatos e glicosídeos cianogênicos provenientes da via chiquimato (DEWICK, 2009; FANG et al. 2011)

Os compostos secundários podem ser de natureza constitutiva ou sintetizados em diversas situações, incluindo mecanismos de defesa contra patógenos, predadores, ou mesmo, de atração de polinizadores e dispersores de sementes (TIKU, 2020; SATDIVE et al., 2007). Além disso, estresses abióticos, como os causados por incidência de luz, temperatura, regime hídrico e a disponibilidade de nutrientes, metais pesados e salinidade no solo, demonstraram afetar significativamente o conteúdo de metabólitos secundários nas plantas (VIALART et al., 2012; SAMPAIO et al. 2016; KHAN et al. 2016; BERNSTEIN et al. 2010).

Para a identificação desses compostos, a metabolômica é uma ferramenta amplamente utilizada, pois oferece um alto grau de seletividade, sensibilidade e replicabilidade (FERNIE & STITT, 2012; KIM et al., 2011; STOBIECKI & KACHLICKI, 2013), tornando-se um artifício fundamental na compreensão do metabolismo secundário das plantas (SUMNER, 2010). A metabolômica é uma estratégia útil para analisar variedades vegetais de interesse agrônomico, e para o controle da qualidade de produtos naturais de consumo humano, cujas legislações estão cada vez mais restritivas, tais como cosmeceuticos, fitoterápicos, nutracêuticos e suplementos alimentares (LAST et al., 2007; WISHART, 2008; WOLFENDER et al., 2009; KIM et al., 2011).

A metabolômica representa um campo de estudo para a compreensão da complexidade dos sistemas biológicos, sendo considerada a ligação entre o fenótipo e o genótipo, posicionando-se como uma área de pesquisa essencial e complementar aos estudos genômicos, proteômicos e transcriptômicos (HICKS, 1966; FIEHN, 2002;



FUKUSAKI & KOBAYASHI, 2005). A metabolômica busca identificar e quantificar os metabólitos, que em sua maioria possuem pequena massa molecular e estão presentes em tais sistemas (GERMAN, 2005; VERPOORTE et al., 2007; CEVALLOS-CEVALLOS et al., 2009; KIM et al., 2011).

A diversificada gama de compostos é estudada através de múltiplas técnicas analíticas. Imprescindível ferramenta para a obtenção de impressões digitais químicas, as técnicas cromatográficas podem ser utilizadas para a identificação, autenticação e quantificação de metabólitos secundários, bem como para estudos quimiosistemáticos. Essa impressão digital cromatográfica pode ser obtida por protocolos como a Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (CG/MS), Cromatografia Líquida acoplada a Espectrometria de Massas (CL/MS) ou ainda, espectrometria de Cromatografia Líquida de Ressonância Magnética Nuclear (CL/RMN), os quais podem demonstrar com sucesso as semelhanças e diferenças entre diversas amostras vegetais (TISTAERT et al., 2011).

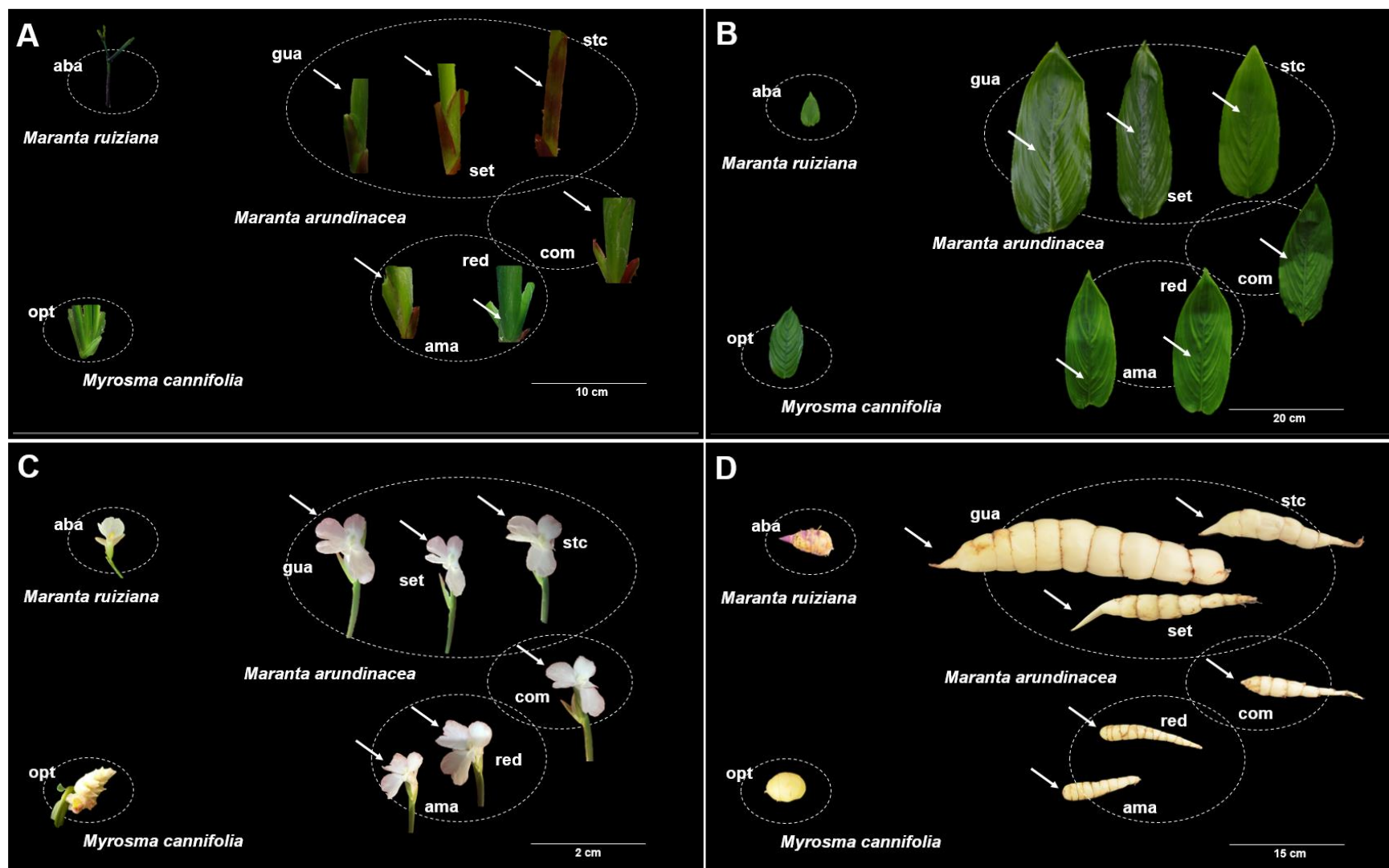
As técnicas analíticas citadas auxiliam de forma precisa no estabelecimento do perfil de metabólitos, separação de classes e identificação de moléculas de interesse. A cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas é uma técnica que pode ser usada para avaliar uma ampla gama de compostos como alcaloides, aminoácidos e aminas, carboidratos, coenzimas, compostos fenólicos, fenilpropanoides, lipídios, policetídeos, terpenoides, vitaminas (hidrofílicas e hidrofóbicas), entre outros. Já cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas é indicada para avaliar óleos essenciais e ácidos graxos, bem como alcaloides, esteroides, monossacarídeos e terpenoides. Ainda, a eletroforese capilar, no que lhe concerne, auxilia na detecção de bases nitrogenadas, coenzimas, grupos prostéticos, nucleosídeos, nucleotídeos, oligossacarídeos, e vitaminas hidrofóbicas (CARRENO-QUINTERO et al., 2013).

As classes de metabólitos secundários, ou moléculas específicas identificadas pelos métodos metabolômicos também funcionam como micromarcadores moleculares para famílias, gêneros e espécies vegetais, complementando os estudos de genômica, proteômica e transcriptômica, através da quimiosistemática e quimiotaxonomia, pois os mesmos, podem não ser suficientes para designação de subespécies ou variedades (FUKUSAKI e KOBAYASHI, 2005; SCHAUER e FERNIE, 2006; HONG et al., 2016). Dessa forma, a metabolômica combinada com dados

morfológicos e genéticos, auxilia na elucidação do histórico de desenvolvimento do organismo em seu ambiente, o que permite uma classificação mais exata dos táxons em níveis inter e intraespecíficos (EKENÄS et al., 2009; MESSINA et al., 2014; PAN et al., 2016; SANTOS et al., 2017).

Sendo assim, a metabolômica uma importante aliada na elucidação e caracterização dos diferentes acessos de araruta presentes no Brasil. Estes acessos recebem a denominação de ecotipos, sendo esses, a população local de uma espécie, que surge como resposta do genótipo às características ecológicas típicas do ambiente local. Ou seja, os ecotipos são adaptações estreitas da planta ao ambiente em que está inserida, entretanto, também é comum encontrar o termo “variedade”, quando se referem aos acessos de araruta.

O termo araruta (arrowroot em inglês) é empregado comumente para várias espécies vegetais como *Canna edulis* L., *Tacca leontopetaloides* L., *Puerariae flos* DC., *Pueraria lobata* Willd. e *Puerariae radix* DC., o que pode gerar equívocos, até mesmo, na área da pesquisa (RAJALAKSHMI et al., 2016; BRITO, 2019). Além disso, existe a própria variabilidade genética entre os acessos, com variação morfológica, principalmente relacionada ao tamanho das folhas e formato dos rizomas. Somente no Brasil são relatadas oito “variedades” de araruta (BRITO et al., 2020). Entretanto, Brito (2019), estabeleceu por meio de análises morfológicas, genômicas e metabolômicas, que apenas seis dessas “variedades” são pertencentes à espécie *Maranta arundinacea* (L.), as outras correspondem a *Maranta ruizina* e a *Myrosma cannifolia* (Figura 2).



**Figura 2** Características fenotípicas morfológicas das (A) hastes, (B) folhas, (C) flores e (D) rizomas de oito acessos denominados ararutas autóctones do Brasil. *Maranta arundinacea* - comum (com), Amazonas (ama), redonda (red), Guadalupe (gua), Santa Catarina (stc), seta (set), *Maranta ruiziana* - araruta-bambu (aba) e *Myrosma cannifolia* - ovo de pata (opt).

**Fonte:** Brito (2019).

Apesar do grande sucesso das análises metabolômicas nas áreas da quimiosistemática e quimiotaxonomia. A utilização dessa ferramenta deve ser realizada com cautela, pois os componentes fitoquímicos dos vegetais estão diretamente ligados a fisiologia e respostas biológicas das plantas. Portanto, o arranjo fitoquímico dos vegetais são afetados de diversas formas, seja pela idade, fatores ambientais bióticos e abióticos e até mesmo, pela qualidade do material vegetal utilizado nas análises (HONG et al., 2016; ALMEIDA et al., 2018).

### **2.3 Compostos secundários e o ambiente**

No reino vegetal são sintetizados milhares de metabólitos secundários e muitos deles são restritos a certos agrupamentos taxonômicos. Essas particularidades funcionam como estratégia de sobrevivência, criando diversidade. Há relatos de variações no teor de compostos químicos até mesmo, dentro de uma mesma espécie (BAGDONAITĖ et al., 2012; WINK, 2015; ZHENG et al., 2018; BORGES et al., 2017). Essas características estão relacionadas à variabilidade genética e, principalmente, às diferenças das condições de crescimento (RADUŠIENĖ et al. 2012). Além disso, a síntese desses metabólitos é estritamente regulada e, geralmente, restrita a tecidos vegetais específicos ou estágios de crescimento e desenvolvimento, em resposta ao estímulo ambiental (GARGALLO-GARRIGA et al. 2014; OSBOURN et al. 2003; SAMPAIO et al. 2016).

A variação dos metabólitos secundários e primários em relação ao índice de radiação solar, temperatura e regime hídrico, também podem interferir em caracteres essenciais na comercialização e processamento de frutas e verduras, como o sabor e a aparência (ZHENG et al., 2018; FALCO e LANZOTTI, 2018). Estas variáveis ambientais, além do estágio de crescimento fenológico, também interferem na qualidade e aroma de ervas e temperos. No orégano (*Origanum vulgare* L.), por exemplo, o período de desenvolvimento que possui a maior concentração de óleos essenciais (início do florescimento), é a época certa para a colheita, pois seu aroma e sabor estão mais acentuados (NURZYŃSKA-WIERDAK, 2009; KRÓL et al., 2019). Já no estudo desenvolvido por Awin et al. (2019), com algumas espécies de *Curcuma* sp., foi possível recomendar que nove meses após o plantio, é o melhor período para a colheita dos rizomas, levando em consideração as concentrações de compostos

bioativos, obtidos a partir de análises de RMN realizadas em diferentes estágios fenológicos das plantas. Entretanto, para espécies com escassez de informações, como a araruta, este efeito ainda não é claro.

Um estudo quimiotaxonômico realizado por Pan et al. (2015), mostra o agrupamento de espécies vegetais, não por sua taxonomia, e sim, por sua origem geográfica, mostrando a influência do ambiente no metaboloma das plantas. Em relação à concentração dos fitoquímicos durante o desenvolvimento fenológico das plantas, Esmaeili et al. (2018) apresentaram resultados satisfatórios na variação dos teores durante a ontogenia de *Oliveria decumbens*, assim como, Bagdonaitė et al. (2012) constataram para *Hypericum perforatum* e Ebrahimi et al. (2008) para *Tymus caramanicus*. Este fato ressalta a necessidade de estudos nesta área, especialmente, para a otimização do ponto de colheita das plantas medicinais e condimentares, quando relacionado a máxima concentração de compostos bioativos de interesse.

Além da literatura supracitada, existem alguns estudos que avaliam diferentes características das plantas no decorrer do seu desenvolvimento fenológico (FERRARI et al., 2005; MAUSZ e POHNERT, 2014). Entretanto, estudos relacionando o perfil metabolômico dos vegetais ao longo do seu desenvolvimento fenológico de maneira aplicada são escassos. Onda et al. (2015), empregaram o perfil metabólico de genótipos de braquipódio (*Brachypodium distachyon* L.) durante o crescimento fenológico *Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt und Chemische Industrie* (BBCH) com o intuito de diferenciar e indicar superioridades entre os acessos genéticos. Em trabalho desenvolvido por Rosetti et al. (2019), foi descrita a evolução morfológica e histoquímica/anatômica de frutos de oliva (*Olive europea*), mostrando aplicabilidades do sistema de codificação BBCH e, direcionando novas investigações em biologia aplicada ao metabolismo vegetal.

Neste sentido, Brito et al. (2019), estabeleceram a fenologia da *M. arundinacea* como base para aplicações na agricultura e em pesquisas. Os autores codificaram os principais eventos fenológicos de acordo com os caracteres morfológicos. No entanto, o direcionamento foi, sobretudo, para o aspecto de bioacúmulo de amido e ponto de colheita. Além da qualidade e acúmulo do amido, é de suma importância desvendar o potencial da araruta em usos medicinais, através do estudo de seu perfil metabolômico. Desta forma, quando se trata de estudar, domesticar ou melhorar uma

nova cultura, é importante entender a fenologia e a composição fitoquímica para a coleta de informações consistentes.

Os *screenings* disponíveis no Quadro 1 confirmam a presença de alcaloides, glicosídeos, esteróis, compostos fenólicos, taninos, terpenoides, saponinas e flavonas em extratos de *M. arundinacea* (SHI et al. 2004; KHAN et al, 2018; BRITO et al., 2019). Os alcaloides com atividades antibacterianas e analgésicas (SHI et al. 2004; KHAN et al, 2018), os glicosídeos que são eficientes na cura da insuficiência cardíaca (cardiotônicos), da tosse e de problemas circulatórios, entretanto, também podem proporcionar malefícios a saúde como os glicosídeos cardiotoxicos (SULE et al., 2010). Os taninos que são divididos em duas classes, os hidrolisáveis e os condensados, sendo grandes responsáveis pelas atividades antidiarreicas e antidiarreicas, além de possuírem efeitos antimicrobianas e antioxidantes, também desempenhando um importante papel no mecanismo de defesa das plantas contra os herbívoros (RIVIÈRE et al., 2009; BARBEHENN e CONSTABEL, 2011).

As saponinas são registradas por possuírem efeitos hipercolesterolêmicos, hiperglicêmicos, dentre outros (RATHORE et al., 2012). Além disso, as propriedades medicinais dos flavonoides, como as flavonas são as atividades anticarcinogênica, anti-inflamatória, antibacteriana, antialérgica, antiviral e imunoestimulante (SHI et al., 2004). Já os terpenos possuem efeitos antimicrobianos, anti-inflamatórios, anticarcinogênico, sendo também bastante testados por seus potenciais inseticidas (COX-GEORDIAN et al., 2019; PAVELA et al., 2017).

## **2.4 Bioatividade dos metabólitos secundários**

### **2.4.1 Propriedades medicinais**

As plantas têm sido a principal fonte de compostos medicinais desde tempos imemoriais, onde suas propriedades farmacológicas as inserem nesse rol (BENT, 2008; DEWICK, 2009). Estas propriedades são originadas pela presença de substâncias fitoquímicas, que podem ser encontrados em diversos órgãos vegetais (CRAGG e NEWMAN, 2001). Os fitoquímicos biologicamente ativos desempenham um papel essencial no desenvolvimento de novas drogas, que contribuem para o tratamento de enfermidades e doenças (DEWICK, 2009, HUBERT, et al., 2017). Além disso, também possuem efeitos nutricionais benéficos (CHANG et al., 2019).

A classe dos compostos fenólicos, provavelmente, abrange a maior quantidade de metabólitos secundários das plantas. Alguns dos compostos dessa classe possuem atividades anti-inflamatórias, anti-hepatotóxicas, antioxidante, antimicrobiana, antitumorais e broncodilatadoras (PETROVSKA, 2012; ANDRADE-CETTO e HEINRICH, 2005). Os alcaloides formam a classe composta por metabólitos com pelo menos um átomo de nitrogênio em um anel heterocíclico. Os alcaloides possuem uma vasta variedade de propriedades farmacológicas, incluindo analgesia, anestesia, estimulação cardíaca, estimulação e relaxamento respiratório, vasoconstrição, relaxamento muscular, e também propriedades antineoplásicas, hipertensivas e hipotensas. Entretanto, muitos alcaloides são tóxicos para os animais e podem levá-los a morte (UDALAMATHTHA et al., 2016; HUSSEIN e EL-ANSSARY, 2018; WHO, 2020).

As saponinas são assim chamadas por sua assimetria hidrofóbico-hidrofílica, o que dá a esses compostos a capacidade de diminuir a tensão superficial, sendo semelhantes ao sabão (REZVANI et al., 2001). Algumas saponinas têm propriedades antitumorais, sedativas, expectorantes, analgésicas e anti-inflamatórias (ESPITALIER et al., 2009). Os terpenos correspondem ao mais diverso grupo de compostos secundários de plantas. Todos eles são derivados quimicamente de unidades de isopreno de cinco carbonos ordenadas de maneiras diversas (UDALAMATHTHA et al., 2016). Eles possuem propriedades anti-inflamatórias, anti-helmínticas, analgésicas, cardiotônicas, antimicrobianas e diuréticas (WHO, 2020; WILSON e WU, 2015; AKITA et al., 2010).

A identificação dos compostos é de suma importância para a elucidação das propriedades bioativas presentes nos metabólitos das plantas. A partir desta, é possível conhecer o composto e decifrar o seu mecanismo de ação, para que possam ser utilizados de maneira aplicável às indústrias farmacêuticas, alimentícias e agroquímicas (MATHEWS et al., 2003; FRANCISCO et al., 2013; SHITAN, 2016). Foi graças a identificação dos compostos secundários da papoula do ópio (*Papaver somniferum*), por exemplo, que atualmente temos os alcaloides opiáceos morfina, codeína, thebaina e oripavina, que possuem propriedades anestésicas e analgésicas, sendo extensivamente utilizados na medicina tradicional (HAGEL e FACCHINI, 2013; DASTMALCHI et al., 2019). Entretanto, os metabólitos secundários possuem aplicações mais vastas na área da medicina alternativa (PALANICHAMY, 2018).

Nas últimas duas décadas, o uso de remédios à base de plantas, ou fitoterápicos, foi amplamente adotado em muitos países desenvolvidos como alternativa a medicina convencional, principalmente, devido aos supostos efeitos colaterais menores, mas seguindo uma legislação rígida e sob vigilância (ENIOUTINA et al., 2017; SURESHKUMAR et al., 2017). Devido aos efeitos sinérgicos presentes nos extratos brutos de plantas com propriedades medicinais, acredita-se que esses tenham maior atividade biológica, que os compostos isolados presentes em muitos medicamentos (COWAN, 1999; JANA e SHEKHAWAT, 2010; WINK, 2015).

## 2.4.2 Propriedades nutricionais

Os metabólitos secundários são importantes para a saúde humana, não somente no campo medicinal, mas também possuem efeitos nutricionais benéficos. Os compostos fenólicos, como antocianinas, polifenóis e flavonoides, podem limitar o risco de várias doenças degenerativas associadas ao estresse oxidativo (atividade antioxidante), como diabetes, doenças cardiovasculares crônicas e câncer, quando são inseridos na dieta humana através dos alimentos (PARR e BOLWELL, 2000; SLAVIN, 2004; PANDEY e RIZVI, 2009; LIM et al., 2016).

Além de benefícios alimentares diretos, os metabólitos secundários também propiciam benefícios indiretos como é o caso da (*Stevia rebaudiana* Bertoni), utilizada como adoçante não calórico em uma ampla parcela de produtos alimentícios (BONDAREV et al., 2003). Ela possui um glicosídeo, que é aproximadamente 300 vezes mais doce que a sacarose, sendo regularizada pelas principais instituições internacionais como suplemento dietético (CRAMMER e IKAN, 1986; EFSA, 2010; TAVARINI e ANGELINI, 2013).

Apesar dos inúmeros efeitos benéficos dos metabólitos secundários, muitos deles podem ser tóxicos para diversos organismos, pois são produzidos principalmente para a defesa das plantas contra herbívoros, fungos e bactérias (SCHOONHOVEN et al., 2005). Alguns metabólitos secundários, especialmente alcaloides, são tóxicos para células procarióticas e eucarióticas. Um desses exemplos é a berberina, um alcaloide benzilisoquinolina sintetizado em algumas espécies vegetais inibe a biossíntese de DNA e proteínas em bactérias, atuando como um protetor químico contra bactérias (SIRIKANTARAMAS et al., 2008). Outro metabólito tóxico aos organismos é o glicosídeo cianogênico amigdalina, encontrado no néctar



das flores de amêndoa (LONDON-SHAFIR et al., 2003), que ao serem polinizadas por abelhas, podem levar os insetos a morte (WRIGHT et al., 2010; AYESTARAN et al., 2010). Foi através de metabólitos secundários como estes, que surgiram alguns inseticidas utilizados de forma extensiva na agricultura (OBEREMOK et al., 2015; DAVIES et al. 2007).

### 2.4.3 Propriedades inseticidas

A importância do conhecimento sobre a dinâmica dos metabólitos secundários das plantas tem aumentado cada vez mais, sendo comum à sua aplicação e usos como drogas, aditivos alimentares e pesticidas (WINK, 2010). Entretanto, na agricultura os estudos metabolômicos dos vegetais ainda precisam ser mais explorados, pois possuem fácil aplicação na área, auxiliando no conhecimento da biofuncionalidade das espécies cultiváveis, aplicando-os à segurança alimentar e ambiental, melhorando também, a nutrição e saúde dos indivíduos, além de utilizá-los para o melhoramento genético de plantas com base na composição química. (DIXON et al., 2006; IBARRA-ESTRADA et al., 2016).

Embora seja difícil determinar com precisão o papel - de cada metabólito secundário, a maioria deles está envolvida na defesa das plantas contra herbívoros e patógenos, ou na atração de polinizadores (YAZAKI, 2004; WINK, 2010). Os insetos podem ser atraídos pela planta hospedeira por sinais visuais e/ou químicos, e, dessa forma, a planta se torna propícia para a sua alimentação e/ou oviposição. Por essa razão os metabólitos secundários, bem como os primários, desempenham um papel crucial na interação inseto-planta (MÜLLER e RIEDERER, 2005; LOPRESTI, 2015).

As decisões das fêmeas dos insetos sobre onde depositar seus ovos são de suma importância para o desenvolvimento da prole e é uma questão chave na compreensão das relações ecológicas que determinam as relações entre hospedeiros e a especialização de insetos herbívoros (JONES e AGRAWAL, 2019). Um dos exemplos desse tipo de relação são as borboletas-monarca (*Danaus plexippus*), que possuem especificidade em relação às plantas do gênero *Asclepias* (Apocynaceae) das quais sequestram cardenólídeos tóxicos provenientes do metabolismo secundário da planta, para a sua própria defesa através da alimentação (BROWER et al. 1967, REICHSTEIN et al. 1968). Além disso, borboletas de outras espécies mimetizam

aparência das monarcas, com o intuito de enganar predadores como as aves, que não se alimentam das monarcas por seu espectro de palatabilidade pungente. Esse mimetismo pode ser classificado em duas vertentes o mimetismo batesiano e o mulleriano, onde o primeiro imita a aparência da borboleta tóxica, porém não possui toxicidade ou sabor desagradável ao ser predada e o segundo apresenta toxicidade ou impalatabilidade semelhantes à borboleta mimetizada (HUHEEY, 1988; JORON e MALLETT, 1998).

A relação inseto-planta supracitada é vantajosa para o inseto, entretanto, na maioria dos casos essa relação favorece a planta e, dessa relação desarmônica, - foram originados alguns inseticidas usados atualmente (KORTBEEK et al., 2019). Alguns metabólitos secundários são utilizados como inseticidas botânicos, além disso, outros também deram origem a moléculas sintéticas (DERBALAH 2012; KHOSHRAFTAR et al., 2020). Como exemplos temos a nicotina de *Nicotiana tabacum* (Neonicotinóides) um alcaloide, a rotenona de *Lonchocarpus* sp., uma isoflavona, e a piretrina de *Chrysanthemum cinerariaefolium* (Piretróides) um terpeno (OBEREMOK et al., 2015; DAVIES et al. 2007). O uso de pesticidas botânicos contra pragas é uma atividade comum há muito tempo, e hoje vem substituindo pesticidas químicos, principalmente, em culturas e produtos que devem estar livres de resíduos químicos, como o sistema de cultivo de alimentos orgânicos (ROEL, 2002; BENELLI et al., 2019).

Os insetos já consomem de 5 a 20% das principais safras de grãos, entre eles o trigo (*Triticum aestivum* L.), o arroz (*Oryza sativa* L.) e o milho (*Zea mays* L.) (DEUTSCH et al., 2018). Isso torna ainda mais necessário, o implemento em pesquisas para novos métodos de controle de pragas. Os inseticidas, método mais utilizado atualmente, possuem uma ampla gama de aplicações, não somente na agricultura, como também no combate aos insetos vetores, envolvidos na disseminação de doenças humanas e animais (GUPTA et al., 2019). Dessa forma, pesquisas com extratos vegetais apontam metabólitos com bioatividade inseticida, como alternativa para solucionar problemas e criar novos produtos com apelo ambiental, que possuem modos de ação mais específicos (KHOSHRAFTAR et al., 2020; BENELLI et al., 2019; PAVELA et al., 2017).

Diversas espécies de insetos são empregadas como modelos biológicos para bioensaios testando inseticidas botânicos e, geralmente, são determinadas a partir de

questões intrínsecas de cada região ou país (PAVELA et al., 2017; BENELLI et al., 2019; SISAY et al., 2019). Em 2018, o Brasil foi o terceiro maior produtor de milho (*Zea mays*) do mundo e a praga com maior potencial de dano da cultura é a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Sendo dessa forma, um inseto modelo de inúmeros estudos, seja envolvendo inseticidas, ou tecnologias de transgenia (FAOSTAT, 2018; OKUMA et al., 2018; OMOTO et al., 2016).

A lagarta-do-cartucho é nativa da região neotropical, com distribuição comum desde a Argentina até os Estados Unidos da América, além de apresentar migrações sazonais atingindo províncias do Canadá (CASMUZ et al., 2010). A espécie também se espalhou para vários países do continente asiático e para mais de 30 países africanos (GOERGEN et al., 2016; EPPO, 2019, FAO, 2019). No Brasil as lagartas-do-cartucho encontram um clima extremamente favorável, sendo uma das principais pragas do milho. Entretanto, a espécie possui hábito polifágico, podendo ser encontrada também em culturas dos cereais arroz, trigo e aveia (*Avena sativa* L.), além do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), soja (*Glycine max* (L) Merrill), e diversas gramíneas forrageiras. Existem relatos que a lagarta-do-cartucho afeta aproximadamente 186 espécies de plantas de 42 famílias (PERUCA et al., 2017; EARLY et al., 2018; BOAVENTURA et al., 2020).

Um dos maiores problemas da espécie *S. frugiperda* é a sua grande capacidade de desenvolver resistência a várias moléculas químicas (CARVALHO et al., 2013). Como alternativa para o controle desta foi desenvolvida e amplamente difundida a tecnologia *Bt*, onde a própria planta é capaz de produzir uma proteína que age no aparelho gastrointestinal dos insetos através da transgenia (TABASHNIK et al., 2015). Entretanto, o controle efetivo desse inseto por culturas geneticamente modificadas, como o milho *Bt*, enfrenta obstáculos, incluindo uso inadequado, inacessibilidade por pequenos agricultores e resistência desenvolvida pela praga. Além disso, a espécie também tem desenvolvido resistência aos inseticidas químicos sintéticos usuais, por conta da sua utilização massiva de maneira errônea (EICHENSEER et al., 2008; STORER et al., 2012; FARIAS et al., 2014).

Adquirir resistência a tecnologias de controle, por conta da utilização inadequada e exacerbada de inseticidas sintéticos, não é exclusividade da *S. frugiperda*, ou de

outras pragas agrícolas. Esse tipo de resistência também é encontrado em insetos vetores de doenças, como é o caso do mosquito hematófago *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) (NAQQASH et al., 2016; ZARA et al., 2016; PAVLIDI et al., 2018). Este inseto de origem africana, atualmente, está distribuído em todas as regiões tropicais e subtropicais do globo. Nas Américas, este vetor é responsável pela circulação de quatro sorotipos do vírus da Dengue (DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4) que podem originar tanto infecções assintomáticas quanto quadros graves fatais. Além disso, também possui alta propensão para transmissão vetorial de outras arboviroses como Chikungunya (CHIKV) e Zika Vírus (ZKV) (COSTA e FAÇANHA, 2008; ZARA et al., 2016).

Em estudos coordenados pela *Pan American Health Organization* (OPAS), em todo o continente americano, somente em 2020 foram registrados aproximadamente 2.300.564 casos de dengue, onde o Brasil lidera o *ranking* com 63,77% desses casos, dos quais 554 foram a óbito (54,37% do total de óbitos registrados no continente). A dengue já possui uma vacina tetravalente (Guy et al. 2010; Souza 2018), entretanto, essa não é completamente eficiente, tornando a limpeza de possíveis criadouros do mosquito (eliminação da fase larval) e a aplicação de inseticidas sintéticos nos perímetros urbanos, as principais ações de combate às arboviroses. Todavia, a aplicação frequente de um mesmo grupo de inseticidas nas ações de controle do vetor tem induzido resistência às populações do mosquito, sem contar na toxicidade desses produtos para os seres humanos e meio ambiente (CANTANE et al., 2015; ZARA et al., 2016).

Vários mecanismos podem ser os responsáveis por resistências adquiridas pelos insetos, entre eles a menor penetração de inseticidas, a biodegradação ou também chamada, resistência metabólica e as mutações que afetam a proteína alvo dos inseticidas (HEMINGWAY et al., 2004; LI et al., 2007). A resistência de *A. aegypti* aos piretróides, principal classe de inseticidas usada contra o vetor, por exemplo, é consequência de mutações que afetam o canal de sódio e de mecanismos metabólicos (MOYES et al., 2017; SMITH et al., 2016). Dessa forma, existe um esforço na busca de bioprodutos como os inseticidas botânicos, que possuem capacidade de controle de proliferação das espécies, com modos de ação distintos, evitando a seleção de populações resistentes com uma menor contaminação do meio ambiente

e diminuição da ação dos inseticidas em organismos não-alvo (BOYCE et al., 2013; ZARA et al., 2016).

Contextualizando a falta de estudos e potenciais utilizações da espécie *M. arundinacea* frente à caracterização e uso de seus componentes fitoquímicos, o presente estudo propõe-se a solucionar as prerrogativas supracitadas. O trabalho será apresentado em formato de capítulo (redigido na forma de artigo), adotando as normas de revista específica, como segue:

**Capítulo 1:** Eficácia inseticida de extratos de araruta (*Maranta arundinacea* L.) contra *Spodoptera frugiperda* e *Aedes aegypti*. Conforme as normas da Neotropical Entomology (ISSN 1678-8052).

#### 4. REFERÊNCIAS

- AKITA, S.; AKINO, K.; HIRANO, A.; OHTSURU, A.; YAMASHITA, S. Noncultured autologous adipose-derived stem cells therapy for chronic radiation injury. **Stem cells international**, v. 2010, 2010. <https://doi.org/10.4061/2010/532704>
- ALMEIDA, M.C.; PINA, E.S.; HERNANDES, C.; ZINGARETTI, S.M.; TALEB-CONTINI, S.H.; SALIMENA, F.R.G.; SLAVOV, S.N.; HADDAD, S.K.; FRANÇA, S.C.; PEREIRA, A.M.S.; BERTONI, B.W. Genetic diversity and chemical variability of *Lippia* spp. (*Verbenaceae*). **BMC Res Notes**, v. 11, n.1, p.725-739, 2018.
- ANDERSSON, L. Revision of *Maranta* subgen. *Maranta* (*Marantaceae*). **Nordic Journal of Botany**, v. 6, n. 6, p. 729-756, 1986. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1986.tb00475.x>
- ANDERSSON, L.; CHASE, M. W. Phylogeny and classification of *Marantaceae*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 135, n. 3, p. 275–287, 2001. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2001.tb01097.x>
- ANDRADE-CETTO, A.; HEINRICH, M. Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes. **Journal of ethnopharmacology**, v. 99, n. 3, p. 325-348, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.04.019>
- AWIN, T.; MEDIANI, A.; MAULIDIANI; LEONG, S. W.; FAUDZI, S. M. M.; SHAARI, K.; ABAS, F. Phytochemical and bioactivity alterations of *Curcuma* species harvested at different growth stages by NMR-based metabolomics. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 77, p. 66–76, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.01.004>
- AYALA-VALENCIA, G.; MORAES, I.C.F.; LOURENÇO, R.V.; HABITANTE, A.M.Q.B. SOBRAL, P.J.A. *Maranta* (*Maranta arundinacea* L) starch properties. Proceedings of the International Conference on Food Properties, v.1, n.1., pp.2426, 2014.

AYESTARAN, A.; GIURFA, M.; SANCHEZ, M. G. B. Toxic but Drank: Gustatory Aversive Compounds Induce Post-ingestional Malaise in Harnessed Honeybees. **PLoS ONE**, v. 5, n. 10, p. e15000, 2010. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015000>

BAGDONAITĖ, E.; MÁRTONFI, P.; REPČÁK, M.; LABOKAS, J. Variation in concentrations of major bioactive compounds in *Hypericum perforatum* L. from Lithuania. **Industrial Crops and Products**, v. 35, n. 1, p. 302–308, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.018>

BARBEHENN, R. V.; CONSTABEL, C. P. Tannins in plant–herbivore interactions. **Phytochemistry**, v. 72, n. 13, p. 1551-1565, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.040>

BENELLI, G.; PAVELA, R.; DRENAGGI, E.; MAGGI, F. Insecticidal efficacy of the essential oil of jambú (*Acmella oleracea* (L.) RK Jansen) cultivated in central Italy against filariasis mosquito vectors, houseflies and moth pests. **Journal of ethnopharmacology**, v. 229, p. 272-279, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.08.030>

BENT, S. Herbal Medicine in the United States: Review of Efficacy, Safety, and Regulation: Grand Rounds at University of California, San Francisco Medical Center. **Journal of General Internal Medicine**, v. 23, n. 6, p. 854–859, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11606-008-0632-y>

BERNSTEIN, N.; KRAVCHIK, M.; DUDAI, N. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. **Annals of Applied Biology**, v. 156, n. 2, p. 167–177, 2010.

BOAVENTURA, D.; ULRICH, J.; LUEKE, B.; BOLZAN, A.; OKUMA, D.; GUTBROD, O.; GEIBEL, S.; ZENG, Q.; DOURADO, P.M.; MARTINELLI, S.; FLAGEL, L.; HEAD, G.; NAUEN, R. Molecular characterization of Cry1F resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* from Brazil. **Insect biochemistry and molecular biology**, v. 116, p. 103280, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2019.103280>

BONDAREV, N. I.; SUKHANOVA, M. A.; RESHETNYAK, O. V.; NOSOV, A. M. Steviol glycoside content in different organs of *Stevia rebaudiana* and its dynamics during ontogeny. **Biologia Plantarum**, v. 47, n. 2, p. 261-264, 2003. <https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000022261.35259.4f>

BORGES, C. V.; MINATEL, I. O.; GOMEZ-GOMEZ, H. A.; LIMA, G. P. P. Medicinal plants: Influence of environmental factors on the content of secondary metabolites. In: **Medicinal Plants and Environmental Challenges**. Springer, Cham, 2017. p. 259-277.

BOYCE, R.; LENHART, A.; KROEGER, A.; VELAYUDHAN, R.; ROBERTS, B.; HORSTICK, O. *Bacillus thuringiensis israelensis* (B ti) for the control of dengue vectors: systematic literature review. **Tropical Medicine & International Health**, v. 18, n. 5, p. 564-577, 2013. <https://doi.org/10.1111/tmi.12087>

BRAZ-FILHO, R. Contribuição da fitoquímica para o desenvolvimento de um país emergente. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 229-239, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000100040>

BRITO, V.H.S. Araruta (*Maranta arundinacea* L.) como cultivo sustentável: aspectos fitotécnicos, morfogenéticos, metabolômicos e agroalimentares. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária), Universidade Católica Dom Bosco. Campo Grande, MS, p. 401. 2019.

BRITO, V.; NASCIMENTO, R.; NARCISA-OLIVEIRA, J.; JOFFER, N.; FATTORI, A.; CEREDA, M.; OLIVEIRA, C.; COSTA, R.; TIBURTINO-SILVA, MACIEL, J. Arrowroot (*Maranta arundinacea* L.): Botany, Horticulture and Uses. **Horticultural Reviews**, v. , p. - , 2020.

BROWER, L. P.; VAN BROWER, J.; CORVINO, J. M. Plant poisons in a terrestrial food chain. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 57, n. 4, p. 893–898, 1 abr. 1967.

CANTANE, D. R.; CRISTINO, A. C.; OLIVEIRA, R. A.; FLORENTINO, H.; SANTOS, F. L.; FERNANDES, M. A.; RIBOLLA, P.; NETO, J. A. S. O desenvolvimento da população do *Aedes aegypti* aplicado ao modelo de otimização no controle da Dengue. **XLVII SBPO-Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2015.

CARRENO-QUINTERO, N.; BOUWMEESTER, H. J.; KEURENTJES, J. J. B. Genetic analysis of metabolome–phenotype interactions: from model to crop species. **Trends in Genetics**, v. 29, n. 1, p. 41–50, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2012.09.006>

CARVALHO, R.A.; OMOTO, C.; FIELD, L.M.; WILLIAMSON, M.S.; BASS, C. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. **PLoS One**, v. 8, n. 4, 2013. DOI:10.1371/journal.pone.0062268

CASMUZ, A.; JUÁREZ, M. L.; SOCÍAS, M. G.; MURÚA, M. G.; PRIETO, S.; MEDINA, S.; WILLINK, E.; GASTAMINZA, G. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista de la Sociedad Entomológica Argentina**, v. 69, n. 3-4, p. 209-231, 2010.

CEREDA, M.P. Propriedades gerais do amido. In: Cereda, M.P. (Coord.). **Culturas de tuberosas amiláceas latinoamericanas**. 1 ed. São Paulo: Fundação Cargil. v.1, cap. 8, p. 141-185, 2001.

CEREDA, M.P; VILPOUX, O.F. Polvilho azedo, critérios de qualidade para uso em produtos alimentares. In: CEREDA, M., P.; VILPOUX, O. Culturas de tuberosas amiláceas latinoamericanas. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, p.333-355, 2003.

CEVALLOS-CEVALLOS, J.M.; REYES-DE-CORCUERA, J.I.; ETXEBERRIA, E.; DANYLUK, M. D.; RODRICK, G. E. Metabolomic analysis in food science: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 11–12, p. 557–566, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.002>

CHANDLER-EZELL, K.; PEARSALL, D. M.; ZEIDLER, J. A. Root and Tuber Phytoliths and Starch Grains Document Manioc (*Manihot Esculenta*), Arrowroot (*Maranta Arundinacea*), and Llerén (*Calathea* sp) at the Real Alto Site, Ecuador. **Economic Botany**, v. 60, n. 2, p. 103–120, 2006. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2006\)60\[103:RATPAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2006)60[103:RATPAS]2.0.CO;2)

CHANG, S. K.; ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. Superfruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects – A comprehensive review. **Critical Reviews in Food**

**Science and Nutrition**, v. 59, n. 10, p. 1580–1604, 31 maio 2019.  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1422111>

CHARLES, A.L.; CATO, K.; HUANG, T.; CHANG, Y.; CIOU, J.; CHANG, J.; LIN, H. Functional properties of arrowroot starch in cassava and sweet potato composite starches. **Food Hydrocolloids**, v.30, n.1, pp.1-5, 2016.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.024>

COSTA, C. A.; FAÇANHA, G. P. Sorotipos virais de dengue identificados em crianças de Manaus, Estado do Amazonas, 2008. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 44, n. 2, p. 249-251, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0037-86822011000200024>

COSTA, F.R.C.; ESPINELLI, F.P.; FIGUEIREDO, F.O.G. Guide to the Marantaceae of the Reserva Ducke and Reserva Biológica do Uatumã, 1st ed. **Editora INPA**, Manaus, 2008.

COWAN, M. M. Plant products as antimicrobial agents. **Clinical microbiology reviews**, 12(4), 564-582, 1999.

COX-GEORGIAN, D.; RAMADOSS, N.; DONA, C.; BASU, C. Therapeutic and Medicinal Uses of Terpenes. In: JOSHEE, N.; DHEKNEY, S. A.; PARAJULI, P. (Eds.). **Medicinal Plants**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 333–359.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-31269-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31269-5_15)

CRAGG, G., NEWMAN, D. Natural Product Drug Discovery in the Next Millennium. **Pharmaceutical Biology**, v.39, p.8–17, 2001.  
<https://doi.org/10.1076/phbi.39.7.8.5868>

CRAMMER, B.; IKAN, R. Sweet glycosides from the stevia plant. **Chemistry in Britain**, v. 22, p. 915-918, 1986.

CROZIER, A.; JAGANATH, I. B.; CLIFFORD, M. N. Phenols, polyphenols and tannins: an overview. **Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet**, v. 1, 2006.

DAMAT, U. Hypolipidemic effect of cake from butyrlated arrowroot starch. **Journal of Food Science and Technology**, v.2, p.1007–1012, 2012.

DASTMALCHI, M.; CHEN, X.; HAGEL, J. M.; CHANG, L.; CHEN, R.; RAMASAMY, S.; YEAMAN, S.; FACCHINI, P. J. Neopinone isomerase is involved in codeine and morphine biosynthesis in opium poppy. **Nature chemical biology**, v. 15, n. 4, p. 384-390, 2019.

DAVIES, T.G.E.; FIELD, L.M.; USHERWOOD, P.N.R.; WILLIAMSON, M.S. DDT, pyrethrins, pyrethroids and insect sodium channels. **IUBMB Life**, v. 59, n. 3, p. 151–162, 2007.

DERBALAH, A. S. Efficacy of some botanical extracts against *Trogoderma granarium* in wheat grains with toxicity evaluation. **The Scientific World Journal**, v. 2012, 2012.  
<https://doi.org/10.1100/2012/639854>

DEUTSCH, C. A.; TEWKSBURY, J. J.; TIGCHELAAR, M.; BATTISTI, D. S.; MERRILL, S. C.; HUEY, R. B.; NAYLOR, R. L. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. **Science**, v. 361, n. 6405, p. 916–919, 2018.  
<https://doi.org/10.1126/science.aat3466>



DEWICK, P. M. **Medicinal natural products: a biosynthetic approach**. 3rd edition ed. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, 2009.

DICKAU, R.; RANERE, A. J.; COOKE, R. G. Starch grain evidence for the preceramic dispersals of maize and root crops into tropical dry and humid forests of Panama. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 9, p. 3651–3656, 2007. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611605104>

DIXON, R. A.; GANG, D. R.; CHARLTON, A. J.; FIEHN, O.; KUIPER, H. A.; REYNOLDS, T. L.; TJEERDEMA, R. S.; JEFFERY, E. H.; GERMAN, J. B.; RIDLEYE, W. P.; SEIBER, J. N. Applications of metabolomics in agriculture. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 24, p. 8984-8994, 2006. <https://doi.org/10.1021/jf061218t>

DUNCAN, N. A.; PEARSALL, D. M.; BENFER, R. A. Gourd and squash artifacts yield starch grains of feasting foods from preceramic Peru. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 32, p. 13202–13206, 2009. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903322106>

EARLY, R.; GONZÁLEZ-MORENO, P.; MURPHY, S. T.; DAY, R. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. **NeoBiota**, v. 40, p. 25–50, 9 nov. 2018. <https://doi.org/10.3897/neobiota.40.28165>

EBRAHIMI, S. N.; HADIAN, J.; MIRJALILI, M. H.; SONBOLI, A.; YOUSEFZADI, M. Essential oil composition and antibacterial activity of *Thymus caramanicus* at different phenological stages. **Food Chemistry**, v. 110, n. 4, p. 927–931, out. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.083>

EFSA PANEL ON FOOD ADDITIVES AND NUTRIENT SOURCES ADDED TO FOOD (ANS). Scientific opinion on the safety of steviol glycosides for the proposed uses as a food additive. **EFSA Journal**, v. 8, n. 4, p. 1537, 2010. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1537>

EICHENSEER, H.; STROHBEHN, R.; BURKS, J. C. Frequency and Severity of Western Bean Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) Ear Damage in Transgenic Corn Hybrids Expressing Different *Bacillus thuringiensis* Cry Toxins. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 2, p. 555–563, 2008. <https://doi.org/10.1093/jee/101.2.555>

EKENÄS, C.; ROSÉN, J.; WAGNER, S.; MERFORT, I.; BAKCLUND, A.; ADREASEN, K. Química secundária e congruências de dados de DNA ribossômico em *Arnica* (Asteraceae). **Cladistics**, v. 25, n. 1, p. 78-92, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2008.00244.x>

Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola. EBDA Busca resgatar cultura da araruta em Cruz das Almas. **EBDA**, Bahia, 2013.

ENIOUTINA, E.Y.; SALIS, E.R.; JOB, K.M.; GUBAREV, M.I.; KREPKOVA, L.V.; SHERWIN, C.M. Herbal Medicines: challenges in the modern world. Part 5. Status and current directions of complementary and alternative herbal medicine worldwide. **Expert review of clinical pharmacology**, v. 10, n. 3, p. 327-338, 2017.

EPPO. PM 7/124 (1) *Spodoptera littoralis*, *Spodoptera litura*, *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera eridania*. **EPPO Bulletin**, v. 45, n. 3, p. 410–444, 2015. <https://doi.org/10.1111/epp.12258>

ERDMAN, M. D. Starch from arrowroot (*Maranta arundinacea*) grown at Tifton, Georgia. *Cereal Chem*, v. 63, n. 3, p. 277-279, 1986.

ESMAEILI, H.; KARAMI, A.; MAGGI, F. Essential oil composition, total phenolic and flavonoids contents, and antioxidant activity of *Olivaria decumbens* Vent. (Apiaceae) at different phenological stages. **Journal of cleaner production**, v. 198, p. 91-95, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.029>

ESPITALIER, F.; VINATIER, C.; LEROUXEL, E.; GUICHEUX, J.; PILET, P.; MOREAU, F.; DALCUSI, G.; WEISS, P.; MALARD, O. A comparison between bone reconstruction following the use of mesenchymal stem cells and total bone marrow in association with calcium phosphate scaffold in irradiated bone. **Biomaterials**, v. 30, n. 5, p. 763-769, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.10.051>

FALCO, B.; LANZOTTI, V. NMR spectroscopy and mass spectrometry in metabolomics analysis of *Salvia*. **Phytochemistry reviews**, v. 17, n. 5, p. 951-972, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9550-8>

FANG, C.; FERNIE, A. R.; LUO, J. Exploring the Diversity of Plant Metabolism. **Trends in Plant Science**, v. 24, n. 1, p. 83–98, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.09.006>

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Outlook - biannual report on global food markets, 2017. Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/ai7343e.pdf>

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 22 maio 2020.

FAO. Briefing note on FAO actions on fall armyworm. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/BS183E/bs183e.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2020.

FARIAS, J.R.; ANDOW, D.A.; HORIKOSHI, R.J.; SORGATTO, R.J.; FRESIA, P.; DOS SANTOS, A.C.; OMOTO, C. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection**, v. 64, p. 150–158, out. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.019>

FERNIE, A. R.; STITT, M. On the Discordance of Metabolomics with Proteomics and Transcriptomics: Coping with Increasing Complexity in Logic, Chemistry, and Network Interactions Scientific Correspondence. **Plant Physiology**, v. 158, n. 3, p. 1139–1145, mar. 2012. <https://doi.org/10.1104/pp.112.193235>

FERRARI, T. B.; LEONEL, M.; SARMENTO, SILVEIRA, S. B. Características dos rizomas e do amido de Araruta (*Maranta arundinacea*) em diferentes estádios de desenvolvimento da planta. **Brazilian Journal and Food Technology**, v. 8, p. 93-98, 2005.

FIEHN, O. Metabolomics—the link between genotypes and phenotypes. **Plant Molecular Biology**, v.48, 155–171, 2002.

FRANCISCO, R.M.; REGALADO, A. AGEORGES, A.; BURLA, B.J.; BASSIN, B. EISENACH, C.; ZARROUK, O.; VIALET, S.; MARLIN, T.; CHAVES, M. M.; MARTINOIA, E.; NAGY, R. ABCC1, an ATP binding cassette protein from grape berry,

transports anthocyanidin 3-O-glucosides. **The Plant Cell**, v. 25, n. 5, p. 1840-1854, 2013. <https://doi.org/10.1105/tpc.112.102152>

FUKUSAKI, E.; KOBAYASHI, A. Plant metabolomics: potential for practical operation. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 100, n. 4, p. 347–354, 2005. <https://doi.org/10.1263/jbb.100.347>

GARGALLO-GARRIGA, A.; SARDANS, J.; PÉREZ-TRUJILLO, M.; RIVAS-UBACH, A.; ORAVEC, M.; VECEROVA, K.; URBAN, O.; JENTSCH, A.; KREYLING, J.; BEIERKUHNLIN, C.; PARELLA, T.; PEÑUELAS, J. Opposite metabolic responses of shoots and roots to drought. **Scientific Reports**, v. 4, n. 1, p. 6829, 2015. <https://doi.org/10.1038/srep06829>

GERMAN, J. B.; HAMMOCK, B. D.; WATKINS, S. M. Metabolomics: building on a century of biochemistry to guide human health. **Metabolomics**, v. 1, n. 1, p. 3–9, 2005. <https://doi.org/10.1007/s11306-005-1102-8>

GOERGEN, G.; KUMAR, P.L.; SANKUNG, S.B.; TOGOLA, A.; TAMÒ, M. Primeiro relato de surtos da lagarta do exército *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), uma nova praga invasora alienígena na África Ocidental e Central. **PLoS one**, v. 11, n. 10, 2016.

GUILHERME, D. O, BRANCO, F. P., MADEIRA, N. R., BRITO, V. H., DE OLIVEIRA, C. E., JADOSKI, C. J., & CEREDA, M. P. Starch Valorization From Corm, Tuber, Rhizome, and Root Crops: The Arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) Case. In: **Starches for Food Application**. Academic Press. 2019. p. 167-222

GUPTA, R. C.; MUKHERJEE, I. R. M.; MALIK, J. K.; DOSS, R. B.; DETTBARN, W. D.; MILATOVIC, D. Insecticides. In: Biomarkers in toxicology. **Academic Press**, 2019. p. 455-475. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814655-2.00026-8>

GUY, B.; GUIRAKHOO, F.; BARBAN, V.; HIGGS, S.; MONATH, T. P.; LANG, J. Preclinical and clinical development of YFV 17D-based chimeric vaccines against dengue, West Nile and Japanese encephalitis viruses. **Vaccine**, v. 28, n. 3, p. 632–649, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2009.09.098>

HAGEL, J. M.; FACCHINI, P. J. Benzylisoquinoline alkaloid metabolism: a century of discovery and a brave new world. **Plant and Cell Physiology**, v. 54, n. 5, p. 647-672, 2013. <https://doi.org/10.1093/pcp/pct020>

HANDLER, J.S. The History of Arrowroot and the Origin of Peasantries in the British West Indies. **The Journal of Caribbean History**, v.2, p.46–93, 1971.

HARMAYANI, E.; KUMALASARI, I.D.; MARSONO, Y. Effect of arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) diet on the selected bacterial population and chemical properties of caecal digesta of Sprague Dawley rats. **Cellulose**, v.2, p.278–284, 2011.

HEMINGWAY, J., HAWKES, N.J., MCCARROLL, L., & RANSON, H. The molecular basis of insecticide resistance in mosquitoes. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 34, n. 7, p. 653–665, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2004.03.018>

HICKS, S. Desert Plants and People. San Antonio: The Naylor Co, 1966.

HONG, J.; YANG, L.; ZHANG, D.; SHI, J. Plant metabolomics: an indispensable system biology tool for plant science. **International journal of molecular sciences**, v. 17, n. 6, p. 767, 2016. <https://doi.org/10.3390/ijms17060767>

HOSSEINZADEH, S.; JAFARIKUKHDAN, A.; HOSSEINI, A.; ARMAND, R. The application of medicinal plants in traditional and modern medicine: a review of *Thymus vulgaris*. **International Journal of Clinical Medicine**, v.6, p.635-642, 2015. doi: 10.4236/ijcm.2015.69084

HUBERT, J.; NUZILLARD, J.; RENAULT, J. Dereplication strategies in natural product research: How many tools and methodologies behind the same concept?. **Phytochemistry Reviews**, v. 16, n. 1, p. 55-95, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11101-015-9448-7>

HUHEEY, J. E. Mathematical Models of Mimicry. *The American Naturalist*, v. 131, p. S22–S41, 1 jun. 1988.

HUSSEIN, R. A .; EL-ANSSARY, A. A. Plants secondary metabolites: the key drivers of the pharmacological actions of medicinal plants. **Herbal Medicine**, 2018.

IBARRA-ESTRADA, E.; PALMA-TENANGO, R. M. S.-H.; M. Metabolomics as a Tool in Agriculture. **Metabolomics - Fundamentals and Applications**, 28 dez. 2016.

IVANOVA, D., GEROVA, D., CHERVENKOV, T., & YANKOVA, T. Polyphenols and antioxidant capacity of Bulgarian medicinal plants. **Journal of ethnopharmacology**, v.96, p.145-150, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.08.033>

JANA, S.; SHEKHAWAT, G. S. Phytochemical analysis and antibacterial screening of in vivo and in vitro extracts of Indian medicinal herb: *Anethum graveolens*. **Research journal of medicinal Plant**, v. 4, n. 4, p. 206-212, 2010.

JAYAKUMAR, A.; SUGANTHI, A. Biochemical and phytochemical analysis of *Maranta arundinacea* (L.) Rhizome. **International Journal of Research in Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 2, n. 3, p. 26-30, 2017.

JONES, P. L.; AGRAWAL, A. A. Beyond preference and performance: host plant selection by monarch butterflies, *Danaus plexippus*. **Oikos**, v. 128, n. 8, p. 1092–1102, ago. 2019. <https://doi.org/10.1111/oik.06001>

JORON, M.; MALLET, J. L. B. Diversity in mimicry: paradox or paradigm?. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 13, n. 11, p. 461-466, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01483-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01483-9)

KHAN, M. N.; MOBIN, M.; ABBAS, Z.K. ALMUTAIRI, K.A. Impact of varying elevations on growth and activities of antioxidant enzymes of some medicinal plants of Saudi Arabia. **Acta Ecologica Sinica**, v. 36, n. 3, p. 141–148, jun. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2015.12.009>

KHAN, H.; NABAVI, S. M.; SUREDA, A.; MEHTEROV, N.; GULEI, D.; BERINDAN-NEAGOE, I.; TANIGUCHI, H.; ATANASOV, A. G. Therapeutic potential of songorine, a diterpenoid alkaloid of the genus *Aconitum*. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 153, p. 29–33, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.10.065>

- KIM, H.K.; CHOI, Y.H.; VERPOORTE, R. NMR-based plant metabolomics: where do we stand, where do we go? **Trends in Biotechnology**, v. 29, n. 6, p. 267–275, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.02.001>
- KORTBEEK, R. W. J.; VAN DER GRAGT, M.; BLEEKER, P. M. Metabolitos endógenos de plantas contra insetos. **European Journal of Plant Pathology**, v. 154, n. 1, p. 67-90, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1540-6>
- KHOSHRAFTAR, Z.; SAFEKORDI, A. A.; SHAMEL, A.; ZAEFIZADEH, M. Evaluation of insecticidal activity of nanoformulation of *Melia azedarach* (leaf) extract as a safe environmental insecticide. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 17, n. 2, p. 1159-1170, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02448-7>
- KRÓL, B.; Kołodziej, B.; Kędzia, B.; Holderna-Kędzia, E.; Sugier, D.; Luchowska, K. Date of harvesting affects yields and quality of *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) letswaart. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 12, p. 5432–5443, 2019. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9805>
- LAST, R. L.; JONES, A. D.; SHACHAR-HILL, Y. Towards the plant metabolome and beyond. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 8, n. 2, p. 167–174, fev. 2007. <https://doi.org/10.1038/nrm2098>
- LEE, M.; CHANG, K. Effects of cheonggukjang containing arrowroot isoflavones on bone metabolism in ovariectomized rats. **Food Science and Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 335–341, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0047-0>
- LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas-amiláceas. **Food Science and Technology**, v.22, n.1, p.65-69, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612002000100012>
- LIM, T. K. *Maranta arundinacea* In: LIM, T. K. (Ed.). **Edible Medicinal and Non Medicinal Plants: Volume 9, Modified Stems, Roots, Bulbs**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. p. 47–54. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9511-1>
- LIN, D.; XIAO, M.; ZHAO, J.; LI, Z.; XING, B.; LI, X.; Kong, M.; LI, L.; ZHANG, Q.; LIU, Y. CHEN, H.; QIN, W.; WU, H.; CHEN, S. An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 diabetes. **Molecules**, v. 21, n. 10, p. 1374, 2016. <https://doi.org/10.3390/molecules21101374>
- LI, X.; SCHULER, M. A.; BERENBAUM, M. R. Molecular Mechanisms of Metabolic Resistance to Synthetic and Natural Xenobiotics. **Annual Review of Entomology**, v. 52, n. 1, p. 231–253, 2007. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151104>
- LONDON-SHAFIR, I.; SHAFIR, S.; EISIKOWITCH, D. Amygdalin in almond nectar and pollen – facts and possible roles. **Plant Systematics and Evolution**, v. 238, n. 1, p. 87–95, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00606-003-0272-y>
- LOPRESTI, E. F. Chemicals on plant surfaces as a heretofore unrecognized, but ecologically informative, class for investigations into plant defence: External chemical defences. **Biological Reviews**, v. 91, n. 4, p. 1102–1117, 2015. <https://doi.org/10.1111/brv.12212>

MANINGAT, C.C.; SEIB, P.A.; BASSI, S.D.; WOO, K.S; LASATER, G.D. 2009. Wheat starch: production, properties, modification and uses. In: BeMiller, J. and Whistler, R. (Eds.) **Starch: Chemistry and Technology**. New York: Academic Press, pp. 441-510.

MARTINS, P. S. Dinâmica evolutiva em roças de caboclos amazônicos. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 209-220, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100013>

MATHEWS, H.; CLENDENNEN, S. K.; CALDWELL, C. G.; LIU, X. L.; CONNORS, K.; MATHEIS, N.; SCHUSTER, D. K.; MENASCO, D. J.; WAGONER, W.; LIGHTNER, J.; WAGNER, D.R. Activation tagging in tomato identifies a transcriptional regulator of anthocyanin biosynthesis, modification, and transport. **The Plant Cell**, v. 15, n. 8, p. 1689-1703, 2003. <https://doi.org/10.1105/tpc.012963>

MAUSZ, M. A.; POHNERT, G. Phenotypic diversity of diploid and haploid *Emiliania huxleyi* cells and of cells in different growth phases revealed by comparative metabolomics. **Journal of Plant Physiology**, v. 172, p. 137–148, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.05.014>

MESSINA, A.; CALLAHAN, D. L.; WALSH, N. G.; HOEBEE, S. E.; GREEN, P. T. Testing the boundaries of closely related daisy taxa using metabolomic profiling. **Taxon**, v. 63, n. 2, p. 367-376, 2014. <https://doi.org/10.12705/632.15>

MONTEIRO, D. A; PERESSIN, V. A. Cultura da araruta. In: CEREDA, M. P. (Coord.). Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo: Fundação Cargill, v. 2, p. 440-447, 2002.

MOYES, C.L.; VONTAS, J.; MARTINS, A.J.; NG, L.C.; KOOU, S.Y.; DUSFOUR, I.; Raghavendra, K.; PINTO, J.; CORBEL, V.; DAVID, J.P.; WEETMAN, D. Contemporary status of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses infecting humans. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v. 11, n. 7, 20 jul. 2017.

MÜLLER, C.; RIEDERER, M. Plant Surface Properties in Chemical Ecology. **Journal of Chemical Ecology**, v. 31, n. 11, p. 2621–2651, 2005. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-7617-7b>

NAQQASH, M.N.; GÖKÇE, A.; BAKHSH, A.; SALIM, M. Insecticide resistance and its molecular basis in urban insect pests. **Parasitology Research**, v. 115, n. 4, p. 1363–1373, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4898-9>

NISHAA, S.; VISHNUPRIYA, M.; SASIKUMAR, J.; HEPHZIBAH, P.; GOPALAKRISHNAN, V.K. Antioxidant activity of ethanolic extract of *Maranta arundinacea* L. tuberous rhizomes. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 5, n. 4, p. 85-88, 2012.

NISHAA, S., VISHNUPRIYA, M., SASIKUMAR, J.M., GOPALAKRISHNAN, V.K. Phytochemical screening and GC-MS analysis of ethanolic extract of rhizomes of *Maranta arundinacea* L. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**. v. 4, n. 2, p. 52-59, 2013.

NURZYŃSKA-WIERDAK, R. Herb yield and chemical composition of common oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil according to the plant's developmental stage. **Herba polonica**, v. 55, n. 3, p. 55-62, 2009.

OBEREMOK, V. V.; LAIKOVA, K. V.; GNINENKO, Y. I.; ZAITSEV, A. S.; NYADAR, P. M.; ADEYEMI, T. A. A short history of insecticides. **Journal of Plant Protection Research**, v. 55, n. 3, p. 221-226, 2015.

ODEKU, O. A. Potentials of tropical starches as pharmaceutical excipients: A review. **Starch - Stärke**, v. 65, n. 1–2, p. 89–106, 2013.

OKUMA, D. M.; BERNARDI, D.; HORIKOSHI, R. J.; BERNARDI, O.; SILVA, A. P.; OMOTO, C. Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil: Resistance to spinosad in *Spodoptera frugiperda*. **Pest Management Science**, v. 74, n. 6, p. 1441–1448, 2018. <https://doi.org/10.1002/ps.4829>

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R. A.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science**, v. 72, n. 9, p. 1727-1736, 2016. <https://doi.org/10.1002/ps.4201>

ONDA, Y.; HASHIMOTO, K.; YOSHIDA, T.; SAKURAI, T.; SAWADA, Y.; HIRAI, M. Y.; TOYOOKA, K.; MOCHIDA, K.; SHINOZAKI, K. Determination of growth stages and metabolic profiles in *Brachypodium distachyon* for comparison of developmental context with Triticeae crops. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1811, p. 20150964, 2015. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.0964>

OPAS. Pan American Health Organization. Dengue. 2019 <http://www.paho.org/data/index.php/en/mnu-topics/indicadores-dengue-en/dengue-nacional-en/252-dengue-pais-ano-en.html>. Accessed in: 10 March 2020.

OSBOURN, A. E.; QI, X.; TOWNSEND, B.E; QIN, B. Dissecting plant secondary metabolism - constitutive chemical defences in cereals. **New Phytologist**, v. 159, n. 1, p. 101–108, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00759.x>

PALANICHAMY, P.; KRISHNAMOORTHY, G.; KANNAN, S.; MARUDHAMUTHU, M. Bioactive potential of secondary metabolites derived from medicinal plant endophytes. **Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, n. 4, p. 303-312, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2018.07.002>

PAN, Y.; ZHANG, J.; ZHAO, Y. L.; WANG, Y. Z.; JIN, H. Chemotaxonomic Studies of Nine Gentianaceae Species from Western China Based on Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry and Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Chemotaxonomic Studies of Gentianaceae Species. **Phytochemical Analysis**, v. 27, n. 3–4, p. 158–167, maio 2016.

PANDEY, K. B.; RIZVI, S. I.. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v. 2, n. 5, p. 270-278, 2009. <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>

PARR, A. J.; BOLWELL, G. P. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 985-1012, 2000. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<985::AID-JSFA572>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<985::AID-JSFA572>3.0.CO;2-7)

PAVELA, R.; MAGGI, F.; LUPIDI, G.; CIANFAGLIONE, K.; DAUVERGNE, X.; BRUNO, M.; BENELLI, G. Efficacy of sea fennel (*Crithmum maritimum* L., Apiaceae) essential oils against *Culex quinquefasciatus* Say and *Spodoptera littoralis* (Boisd.). **Industrial crops and products**, v. 109, p. 603-610, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.013>

PAVLIDI, N.; VONTAS, J.; VAN LEEUWEN, T. The role of glutathione S-transferases (GSTs) in insecticide resistance in crop pests and disease vectors. **Current Opinion in Insect Science**, v. 27, p. 97–102, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.04.007>

PERUCA, R. D.; COELHO, R. G.; DA SILVA, G. G.; PISTORI, H.; RAVAGLIA, L. M.; ROEL, A. R.; ALCANTARA, G. B. Impacts of soybean-induced defenses on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) development. **Arthropod-plant interactions**, v. 12, n. 2, p. 257-266, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11829-017-9565-x>

PETROVSKA, B. B. Historical review of medicinal plants' usage. **Pharmacognosy reviews**, v. 6, n. 11, p. 1, 2012. DOI:10.4103/0973-7847.95849

PICKERSGILL, B. Domestication of Plants in the Americas: Insights from Mendelian and Molecular Genetics. **Annals of Botany**, v. 100, n. 5, p. 925–940, 2007. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm193>

PIO CORRÊA, M. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro: **Imprensa Nacional**, 1984. v. 1. p. 150-151, 309. Editado pelo Serviço de Informação Agrícola.

PIPERNO, D. R. Phytolith analysis and tropical paleo-ecology: Production and taxonomic significance of siliceous forms in new world plant domesticates and wild species. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 45, n. 3–4, p. 185–228, 1985. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(85\)90002-8](https://doi.org/10.1016/0034-6667(85)90002-8)

PIPERNO, D. R. Identifying crop plants with phytoliths (and starch grains) in Central and South America: A review and an update of the evidence. **Quaternary International**, v. 193, n. 1–2, p. 146–159, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.11.011>

PIPERNO, D. R.; RANERE, A. J., HOLST, I.; HANSELL, P. Starch grains reveal early root crop horticulture in the Panamanian tropical forest. **Nature**, v. 407, n. 6806, p. 894–897, 2000. <https://doi.org/10.1038/35038055>

PIRIYAPRASARTH, S., PATOMCHAIWAT, V., SRIAMORNSAK, P., SEANGPONGCHAWAL, N., KATEWONGSA, P., AKEURU, P., SRIJARREON, P., SUTTIPHATYA, P. Evaluation of Yam (*Dioscorea* sp.) Starch and Arrowroot (*Maranta arundinacea*) Starch as Suspending Agent in Suspension. **Advanced Materials Research**, 362–365, 2010. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.93-94.362>.

RADUŠIENĖ, J.; KARPAVIČIENĖ, B.; STANIUS, Ž. Effect of External and Internal Factors on Secondary Metabolites Accumulation in St. John's Worth. **Botanica Lithuanica**, v. 18, n. 2, p. 101–108, 1 dez. 2012. <https://doi.org/10.2478/v10279-012-0012-8>

RAJALAKSHMI, P.; VADIVEL, V.; ABIRAMI, K., BRINDHA, P. Evaluation of Antioxidant and Anti-inflammatory Potentials of Selected Siddha Herbal Drugs – An In



vitro Study. **International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research**, v.8, p.519-523, 2016.

RATHORE, S. K.; BHATT, S.; DHYANI, S.; JAIN, A. Preliminary phytochemical screening of medicinal plant *Ziziphus mauritiana* Lam. fruits. **International Journal of Current Pharmaceutical Research**, v. 4, n. 3, p. 160-162, 2012.

REDDY, P. P. Arrowroot, *Maranta arundinacea*. In: REDDY, P. P. (Ed.). **Plant Protection in Tropical Root and Tuber Crops**. New Delhi: Springer India, 2015. p. 319–322.

REGO, C.A.R.M.; ROCHA, A.E.; OLIVEIRA, C.A.; PACHECO, F.P.F. Ethnobotanical survey in traditional communities of Pedra Suada settlement, Cachoeira Grande municipality. **Acta Agronómica**. 65, 284-291, 2016. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n3.50240>.

REICHSTEIN, T.; VON EUW, J.; PARSONS, J. A.; ROTHSCHILD, M. Heart Poisons in the Monarch Butterfly. **Science**, v. 161, n. 3844, p. 861–866, 1968.

RENBORG, L.; JOHANSSON, A.I.; SHUTOVA, T.; STENLUND, H.; AKSMANN, A.; RAVEN, J.A.; GARDESTRÖM, P.; MORITZ, T.; SAMUELSSON, G. A metabolomic approach to study major metabolite changes during acclimation to limiting CO<sub>2</sub> in *Chlamydomonas reinhardtii*. **Plant Physiology**, v.154, p.187–196, 2010.

REZVANI, M.; BIRDS, D. A.; HODGES, H.; HOPEWELL, J. W.; MILLEDEW, K.; WILKINSON, J. H. Modification of radiation myelopathy by the transplantation of neural stem cells in the rat. **Radiation Research**, v. 156, n. 4, p. 408-412, 2001. [https://doi.org/10.1667/0033-7587\(2001\)156\[0408:MORMBTorgeous2.0.CO;2](https://doi.org/10.1667/0033-7587(2001)156[0408:MORMBTorgeous2.0.CO;2)

RIVIÈRE, C.; DEJAEGHER, B.; VANDER HEYDEN, Y.; VAN, M. C.; QUETIN-LECLERCQ, J. Polyphenols isolated from antiradical extracts of *Mallotus metcalfeanus*. **Phytochemistry**, v. 70, n. 1, p. 86-94, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.10.008>

ROEL, A. R. A agricultura orgânica ou ecológica e a sustentabilidade da agricultura. *Interações*, v.3, n.4, p.57-62, 2002. <https://dx.doi.org/10.20435/interacoes.v3i4.578>

ROSETTI, M. V.; FLEMMER, A. C.; HERNÁNDEZ, L. F. A detailed description of morphological and anatomical characters of olive (*Olea europaea*) fruits in relation to phenological growth stages. **Annals of Applied Biology**, v. 174, n. 3, p. 402–412, 2019. <https://doi.org/10.1111/aab.12494>

RUBA, A. A.; MOHAN, V. R. Evaluation of total phenolic and flavonoid contents and in vitro antioxidant activity of rhizome of *Maranta arundinacea* L. **Pharma Science Monitor**, v. 4, n. 2, 2013.

SAMPAIO, B. L.; EDRADA-EBEL, R.; DA COSTA, F. B. Effect of the environment on the secondary metabolic profile of *Tithonia diversifolia*: a model for environmental metabolomics of plants. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 29265, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep29265>

SANTOS, V. S.; MACEDO, F. A.; VALE, J.S.; SILVA, D. B.; CAROLLO, A. C. Metabolomics as a tool for understanding the evolution of *Tabebuia sensu lato*. **Metabolomics**, v. 13, n. 6, p. 72, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11306-017-1209-8>

- SATDIVE, R.; FULZELE, D.; EAPEN, S. Enhanced production of azadirachtin by hairy root cultures of *Azadirachta indica* A. Juss by elicitation and media optimization. **Journal of Biotechnology**, v. 128, n. 2, p. 281–289, 1 fev. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2006.10.009>
- SCHOONHOVEN, L. M.; LOON, J. J. A. VAN; DICKE, M. **Insect-plant biology**. 2nd ed. Oxford; New York: Oxford University Press, 2005.
- SCHAUER, N.; FERNIE, A. R. Plant metabolomics: towards biological function and mechanism. **Trends in plant science**, v. 11, n. 10, p. 508-516, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.08.007>
- SHANTHAKUMARI, S., MOHAN, V.R.; BRITTO, A.J. Chemical analysis of the rhizome of *Maranta arundinacea* L. **Journal of Economic and Taxonomic Botany**, 31, 19-23, 2007.
- SHI, J.; ARUNASALAM, K.; YEUNG, D.; KAKUDA, Y.; MITTAL, G.; JIANG, Y. Saponins from edible legumes: chemistry, processing, and health benefits. **Journal of medicinal food**, v. 7, n. 1, p. 67-78, 2004. <https://doi.org/10.1089/109662004322984734>
- SHINTU, P.V., RADHAKRISHNAN, V.V., MOHANAN, K.V. Pharmacognostic standardisation of *Maranta arundinacea* L. - An important ethnomedicine. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v.4, p.673-635, 2015.
- SHITAN, N. Secondary metabolites in plants: transport and self-tolerance mechanisms. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v. 80, n. 7, p. 1283-1293, 2016. <https://doi.org/10.1080/09168451.2016.1151344>
- SILVA, J.R.; ASSUMPÇÃO, R.; VEGRO, C.L.R. A inserção da fécula de mandioca no mercado de amido. **Informações econômicas**, v.30, n.7, p.3141, 2000.
- SIRIKANTARAMAS, S.; YAMAZAKI, M.; SAITO, K. Mechanisms of resistance to self-produced toxic secondary metabolites in plants. **Phytochemistry Reviews**, v. 7, n. 3, p. 467, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9080-2>
- SISAY, B.; TEFERA, T.; WAKGARI, M.; AYALEW, G.; MENDESIL, E. The efficacy of selected synthetic insecticides and botanicals against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in maize. **Insects**, v. 10, n. 2, p. 45, 2019. <https://doi.org/10.3390/insects10020045>
- SLAVIN, J. Whole grains and human health. **Nutrition research reviews**, v. 17, n. 1, p. 99-110, 2004. <https://doi.org/10.1079/NRR200374>
- SMITH, L. B.; KASAI, S.; SCOTT, J. G. Pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: Important mosquito vectors of human diseases. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 133, p. 1–12, out. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.03.005>
- SOUZA, N. R. Q. Investigação de diversos biomarcadores em uma linhagem celular diferenciada em macrófagos para o desenvolvimento de um ensaio de potência alternativa para vacina atenuada contra dengue. 2018. Tese de Doutorado.
- STOBIECKI, M.; KACHLICKI, P. Liquid Chromatographic-Mass Spectrometric Analysis of Flavonoids. In: WECKWERTH, W.; KAHL, G. (Eds.). *The Handbook of*

Plant Metabolomics. Weinheim, Germany: Wiley, 2013. p. 197–213. <https://doi.org/10.1104/pp.112.193235>

STORER, N.P.; KUBISZAK, M.E.; KING, J.E.; THOMPSON, G.D.; SANTOS, A.C. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Lessons from Puerto Rico. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 110, n. 3, p. 294–300, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.04.007>

SULE, W. F.; OKONKO, I. O.; JOSEPH, T. A.; OJEZELE, M. O.; NWANZE, J. C.; ALLI, J. A.; ADEWALE, O. G. In vitro antifungal activity of *Senna alata* Linn. crude leaf extract. **Research journal of biological sciences**, v. 5, n. 3, p. 275-284, 2010.

SUMNER, L. W. Recent advances in plant metabolomics and greener pastures. **F1000 biology reports**, v. 2, 2010.

SURESHKUMAR, J.; SILAMBARASAN, R.; AYYANAR, M. An ethnopharmacological analysis of medicinal plants used by the Adiyar community in Wayanad district of Kerala, India. **European Journal of Integrative Medicine**, v. 12, p. 60–73, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2017.04.006>

TABASHNIK, B. E. ABCs of Insect Resistance to Bt. **PLOS Genetics**, v. 11, n. 11, p. e1005646, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3ª edição. **Porto alegre–Artmed**, 2004, 719p.

TEAGASC. Starch potatoes. Carlow, Ireland, 2017. Disponível em: <<https://www.teagasc.ie/crops/crops/research/researchprogramme/cropquest/starchpotatoes/>>. Acesso em: 20 mai 2019.

TAVARINI, S.; ANGELINI, L. G. Stevia rebaudiana Bertoni as a source of bioactive compounds: the effect of harvest time, experimental site and crop age on steviol glycoside content and antioxidant properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 9, p. 2121-2129, 2013. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6016>

TIKU A.R. Antimicrobial Compounds (Phytoanticipins and Phytoalexins) and Their Role in Plant Defense. In: Mérillon JM., Ramawat K. (eds) Co-Evolution of Secondary Metabolites. **Reference Series in Phytochemistry**. Springer, p. 845-868, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6\\_63](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6_63)

TISTAERT, C.; DEJAEGHER, B.; HEYDEN, Y. V. Chromatographic separation techniques and data handling methods for herbal fingerprints: A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 690, n. 2, p. 148–161, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.02.023>

UDALAMATHTHA, V. L.; JAYASINGHE, C. D.; UDAGAMA, P. V. Potential role of herbal remedies in stem cell therapy: proliferation and differentiation of human mesenchymal stromal cells. **Stem cell research & therapy**, v. 7, n. 1, p. 110, 2016. <https://doi.org/10.1186/s13287-016-0366-4>

VERPOORTE, R.; CHOI, Y. H.; KIM, H. K. NMR-based metabolomics at work in phytochemistry. **Phytochemistry Reviews**, v. 6, n. 1, p. 3–14, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11101-006-9031-3>

VIALART, G.; HEHN, A.; OLRÉ, A.; ITO, K.; KRIEGER, C.; LARBAT, R.; PARIS, C.; SHIMIZU, B.I.; SUGIMOTO, Y.; MIZUTANI, M.; BOURGAUD, F. A 2-oxoglutarate-dependent dioxygenase from *Ruta graveolens* L. exhibits p-coumaroyl CoA 2'-

hydroxylase activity (C2'H): a missing step in the synthesis of umbelliferone in plants: C2'H involved in umbelliferone synthesis. **The Plant Journal**, v. 70, n. 3, p. 460–470, maio 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04879.x>

VILPOUX, O.F. Processos de produção de fécula de mandioca: comparação Brasil, Tailândia e China. In: Cereda, M.P. (ed.). Tecnologia, uso e potencialidades de tuberosas amiláceas latino-americanas. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, cap.7, 143-175, 2003.

VILPOUX, O.F.; GUILHERME, D.O.; CEREDA, M.P. Cassava cultivation in Latin America. In: HERSHEY, C. (Ed.), Cultivation techniques. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, London, UK, pp.150-174, 2017.

WATERSCHOOT, J.; GOMAND, S.V.; FIERENS, E.; DELCOUR, J.A. Production, structure, physicochemical and functional properties of corn, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch/Stärke**, v.67, n.3, pp.14-29, 20015. <https://doi.org/10.1002/star.201300238>

WHO - World Health Organization. Traditional, Complementary and Integrative Medicine. 2020. Disponível em: <[https://www.who.int/health-topics/traditional-complementary-and-integrative-medicine#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/traditional-complementary-and-integrative-medicine#tab=tab_1)>. Acesso em: 20 maio 2020.

WILSON, K. D.; WU, J. C. Induced pluripotent stem cells. **Jama**, v. 313, n. 16, p. 1613-1614, 2015. DOI:10.1001/jama.2015.1846

WINK, M. Functions and Biotechnology of Plant Secondary Metabolites—Annual Plant Reviews, Vol. 39. 2010.

WINK, M. Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. **Medicines**, v.2, p.251-286, 2015. <https://doi.org/10.3390/medicines2030251>

WISHART, D.S. Metabolomics: applications to food science and nutrition research. **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, n. 9, p. 482–493, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.03.003>

WRIGHT, G. A.; MUSTARD, J. A.; SIMCOCK, N. K.; ROSS-TAYLOR, A. A.; MCNICHOLAS, L. D.; POPESCU, A.; MARION-POLL, F. Parallel Reinforcement Pathways for Conditioned Food Aversions in the Honeybee. **Current Biology**, v. 20, n. 24, p. 2234–2240, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.11.040>

WOLFENDER, J. L.; GLAUSER, G.; BOCCARD, J.; RUDAZ, S. MS-based Plant Metabolomic Approaches for Biomarker Discovery. **Natural Product Communications**, v. 4, n. 10, p. 1934578X0900401, 2009. <https://doi.org/10.1177/1934578X0900401019>

YAZAKI, K. Natural Products and Metabolites. In: CHRISTOU, P.; KLEE, H. (Eds.). Handbook of Plant Biotechnology. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2004. p.39. <https://doi.org/10.1002/0470869143.kc039>

ZARA, A. L. S. A.; SANTOS, S. M. D.; FERNANDES-OLIVEIRA, E. S.; CARVALHO, R. G.; COELHO, G. E. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão.

**Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 25, p. 391-404, 2016.  
<https://doi.org/10.5123/S1679-49742016000200017>

ZHENG, J.; HUANG, C.; YANG, B.; KALLIO, H.; LIU, P.; OU, S. Regulation of phytochemicals in fruits and berries by environmental variation—Sugars and organic acids. **Journal of food biochemistry**, v. 43, n. 6, p. e12642, 2018.  
<https://doi.org/10.1111/jfbc.12642>

## CAPÍTULO I

**EFICÁCIA INSETICIDA DE EXTRATOS DE ARARUTA  
(*Maranta arundinacea* L.) CONTRA *Spodoptera frugiperda*  
(JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) E *Aedes aegypti*  
(Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae)**

**Eficácia inseticida de extratos de araruta (*Maranta arundinacea* L.) contra *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) e *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae)**

Renata Nascimento<sup>1</sup>, Nathália Joffer<sup>1</sup>, Willy Rilston<sup>1</sup>, Asser Botelho<sup>1</sup>, Tiago Tognolli<sup>1</sup>, Karla Porto<sup>1</sup>, Antonia Railda Roel<sup>1</sup>, Claudia Andrea Cardoso<sup>2</sup>, Rosemary Matias<sup>3</sup>, Reginaldo Costa<sup>1</sup>  
e Vitor Brito<sup>3</sup>

1 Departamento de Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Univ. Católica Dom Bosco, Campo Grande, Brasil

2 Departamento de Química, Univ. Estadual do Mato Grosso do Sul, Dourados, Brasil

3 Departamento de Produção e Gestão Agroindustrial, Univ. para o Desenvolvimento do Estado e Região do Pantanal

Correspondência: Nascimento, R. Departamento de Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Univ. Católica Dom Bosco, Av. Tamandaré, 8000, Campo Grande, Brasil. renatasantos.ms@gmail.com.

**Resumo:** Os novos desafios no controle de pragas e vetores impulsionam a busca por métodos de manejo sustentáveis, tornando os inseticidas botânicos uma estratégia importante para o controle destes insetos. A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), afeta a produção de inúmeras culturas por possuir hábito polifágico e o mosquito-da-dengue, *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae), é um importante

vetor de arboviroses como Dengue, Chikungunya e Zika, assim ambas espécies se tornaram importantes modelos experimentais em bioensaios. Devido a relatos que a araruta (*Maranta arundinacea* L.) possui resistência ao ataque de pragas, o que indica uma possível atividade bioinseticida, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de extratos de suas hastes (EH) e folhas (EF) sobre o ciclo de vida de *S. frugiperda* e *A. aegypti*. Para confirmar a eficácia foram realizados testes fitoquímicos e metabolômicos de natureza qualitativa e quantitativa, que identificaram a presença dos compostos rutina e quercetina nos dois extratos, e ácido clorogênico e rosmarínico somente no extrato da folha. Além disso, foi testada a atividade de inibição do extrato frente a enzima acetilcolinesterase, que manteve os seus níveis de ação dentro da normalidade. Os testes de aplicação tópica realizados em *S. frugiperda* não apresentaram níveis de mortalidade significativos em 24 horas de exposição, entretanto, os extratos atuaram diretamente no peso das pupas, mortalidade, oviposição e inviabilizaram completamente a eclosão dos ovos nos ensaios via oral. Em *A. aegypti* os extratos avaliados interferiram significativamente no desenvolvimento larval, pupal e na emergência de alados. Estes resultados confirmam a atividade inseticida dos extratos de araruta, chamando a atenção para a diversificação de usos da espécie.

**Palavras-chave:** Praga; Vetor; Inseticida Botânico; Fitoquímica; Cromatografia.

## **Introdução**

Os inseticidas botânicos têm aumentado a sua visibilidade e crescimento nos últimos 20 anos, e sua maior divulgação pode ser comprovada pelo número de publicações na área (Isman and Grieneisen 2014; Isman 2015; Isman 2020). Em sinergia com o aumento de publicações, o mercado de inseticidas e repelentes botânicos também vem crescendo gradualmente, por conta do apelo natural, saudável e de baixo risco ambiental deste tipo de defensivo, porém ainda estão muito aquém do esperado, por conta de fatores como as legislações reguladoras (Benelli 2015;



Pavela and Benelli 2016; Pavela et al. 2017; Isman 2020). Entretanto, em cultivos que precisam estar livres de resíduos de inseticidas, como os orgânicos e os agroecológicos, estes produtos são amplamente utilizados (Roel 2002; Benelli et al. 2019).

Esse uso foi alavancado pelas descobertas dos efeitos deletérios na saúde e ao meio ambiente causados por inseticidas de uso comum no século XX, como os organofosforados (por exemplo o Metil Paration) e o diclorodifeniltricloroetano (DDT), que atualmente são expressamente proibidos, além de outras substâncias nocivas que foram excluídas da linha de produção de empresas agroquímicas (Koul and Dhaliwal 2003; Morgan 2004; Isman 2006; Benelli 2015).

No decorrer dos anos, diversas pesquisas mostram que os vegetais expressam em sua composição metabólitos secundários, que possuem diversas atividades biológicas (Dewick 2009; Wink 2015). Os metabólitos secundários são agrupados em classes de acordo com a sua composição e apresentam diferentes funções biológicas, entre elas estão a tolerância a intempéries climáticas e a herbívora. Desta forma, surgiu o campo de pesquisa em bioinspiração, onde moléculas com efeito repelente ou inseticida dos vegetais foram copiadas sinteticamente na indústria agroquímica. Entre os alcaloides, por exemplo, a nicotina e a piretrina, são compostos que deram origem a alguns pesticidas sintéticos como os neonicotinoides e os piretroides, respectivamente (Davies et al. 2007; Derbalah 2012; Oberemok et al. 2015; Khoshraftar et al. 2020).

Tanto as pragas agrícolas, quanto insetos vetores de doenças em zonas rurais e urbanas aumentam suas populações devido ao curto ciclo de vida e a resistência adquirida por estes aos pesticidas comuns (Ebert 2017; Naqqash et al. 2016; Pavlidi et al. 2018). Dessa forma, pesquisas com extratos vegetais apontam metabólitos com bioatividade inseticida, como alternativa para solucionar problemas e criar novos produtos com apelo ambiental, que possuem modos de ação mais específicos (Khoshraftar et al. 2020; Benelli et al. 2019; Pavela et al. 2017).

Diversas espécies de insetos são empregadas como modelos biológicos para bioensaios de inseticidas botânicos, sendo determinadas a partir de questões intrínsecas de cada região ou país (Pavela et al. 2017; Benelli et al. 2019; Sisay et al. 2019). Por ser um país tropical, o Brasil tem uma grande população e biodiversidade de insetos, entretanto com a ocupação humana exacerbada, a dinâmica populacional das espécies é afetada (Paula et al. 2015; Roque et al. 2018). Essa prerrogativa pode ser notada em surtos emergentes de arboviroses nos últimos anos em todo o mundo (Figueiredo 2015; Vasconcelos e Calisher 2016), e também na população e diversidade de pragas agrícolas, que o tornam dependentes da utilização massiva de pesticidas e culturas transgênicas (Pignati et al. 2017; Paumgarttem 2020).

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é nativa da região Neotropical, com distribuição comum desde a Argentina até os Estados Unidos da América, além de apresentar migrações sazonais atingindo províncias do Canadá (Casmuz et al. 2010). No Brasil as lagartas-do-cartucho encontram um clima extremamente favorável, sendo uma das principais pragas do milho (*Zea mays* L.), entretanto, a espécie possui hábito polifágico, podendo ser encontrada também em culturas dos cereais arroz (*Oryza sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e aveia (*Avena sativa* L.), além do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), soja (*Glycine max* L.) e diversas gramíneas forrageiras. Existem relatos que a lagarta-do-cartucho afeta aproximadamente 186 espécies de plantas de 42 famílias (Peruca et al. 2017; Early et al. 2018; Boaventura et al. 2020).

Estudos mostram que perdas de rendimento com o ataque de lagarta-do-cartucho variaram de 40 a 72% (Murúa et al. 2006; Wyckhuys and O'Neil 2006). Por conta da severidade da lagarta-do-cartucho e de outros lepidópteros que atacam culturas agrícolas como o milho e o algodão, foi desenvolvida e amplamente difundida a tecnologia *Bt*, onde a própria planta é capaz de produzir uma proteína que age no aparelho gastrointestinal dos insetos (Tabashnik et al. 2015). Apesar disso, o manejo inadequado dessa tecnologia vem resultando na perda de

eficiência, devido à resistência das lagartas no decorrer de seus ciclos (Eichenseer et al. 2008; Storer et al. 2012). A resistência dos insetos pragas ou vetores de doenças nos perímetros urbanos também está associada à utilização inadequada de inseticidas sintéticos (Naqqash et al. 2016; Pavlidi et al. 2018).

Dentre os insetos existentes e que fornecem risco a saúde pública está o mosquito hematófago *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera: Culicidae), também conhecido como mosquito-da-dengue ou mosquito-rajado. Este inseto de origem africana, atualmente, está distribuído em todas as regiões tropicais e subtropicais do globo. Nas Américas, este vetor é responsável pela circulação de quatro sorotipos do vírus da Dengue (DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4) que podem levar a óbito. Além disso, também possui alta propensão para transmissão vetorial de outras arboviroses como Chikungunya (CHIKV) e Zika Vírus (ZKV) (Zara et al. 2016). Em estudos coordenados pela *Pan American Health Organization* (OPAS), em todo o continente americano, somente em 2020 foram registrados aproximadamente 2.300.564 casos de dengue, onde o Brasil lidera o *ranking* com 63,77% desses casos, dos quais 554 foram a óbito (54,37% do total de óbitos registrados no continente).

A dengue já possui uma vacina tetravalente (Guy et al. 2010; Souza 2018), entretanto, essa não é completamente eficiente, tornando a limpeza de possíveis criadouros do mosquito (eliminação da fase larval) e a aplicação de inseticidas sintéticos nos perímetros urbanos, as principais ações de combate a essas doenças. Todavia, a aplicação frequente de um mesmo grupo de inseticidas nas ações de controle do vetor tem induzido resistência as populações do mosquito, sem contar na toxicidade desses produtos para o ser humano e ao ambiente (Cantane et al. 2015; Zara et al. 2016). Dessa forma, existe um esforço na busca de bioprodutos como os inseticidas botânicos, que possuem capacidade de controle de proliferação da espécie e minimizam a ação em organismos não-alvo, evitando a seleção de populações resistentes com

uma menor contaminação do meio ambiente e malefícios a saúde mais brandos (Boyce et al. 2013; Zara et al. 2016).

Devido ao baixo índice de infestação de insetos pragas na cultura da araruta *Maranta arundinacea* (L.), há indícios que a sua composição fitoquímica potencialmente pode apresentar componentes de uso inseticida (Brito et al. 2020). Um exemplo pode ser observado nos estudos de Reddy (2015), que citam a lagarta *Calpodes ethlius* (Stoll) como a única praga que já esboçou algum tipo de relevância para a cultura da araruta, pois também era extremamente resistente aos inseticidas comuns.

A araruta é uma espécie amilácea neotropical, cujo cultivo foi difundido para países Asiáticos, como Índia, China, Sri Lanka, Indonésia e Filipinas (Harmayani et al. 2011; Kumalasari et al. 2012). A planta possui hábito herbáceo com formação de rizomas tuberosos com amido, sendo este o principal produto da espécie (Guilherme et al. 2018; Brito et al. 2019). Existem relatos que os ameríndios empregavam a espécie como antiofídico contra peçonhas de animais e flechas envenenadas (Handler 1971), mas nada comprovado cientificamente. Publicações recentes mostram que classes de compostos secundários como os alcaloides, glicosídeos, esteróis, compostos fenólicos, taninos, terpenoides, saponinas e flavonas estão presentes na planta, e segundo a literatura todos apresentam algum tipo de atividade biológica (Damat 2012; Nishaa et al. 2012; Shintu et al. 2015; Rego et al. 2016).

Apesar dos indícios de resistência da planta de araruta ao ataque de insetos, não há pesquisas para determinar a sua composição química e especialmente, sobre a atividade repelente ou inseticida. Neste contexto, o presente estudo objetivou avaliar a composição de extratos de *M. arundinacea* e a sua toxicidade contra larvas de *S. frugiperda* e *A. aegypti*.

## **Materiais e Métodos**

### *Material vegetal e cultivo*

Os propágulos de araruta (*Maranta arundinacea* L.) ‘variedade’ *comum* foram disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – Unidade CENARGEM, Brasília, Brasil) e cultivadas em condições de casa de vegetação na Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal – Campus Agrárias, Brasil (20°26'28''S, 54°32'19''W, 671 m). Os “rizomas de plantio” empregados na avaliação apresentavam comprimento de 7 cm, com massa média de 10 g (massa úmida).

O plantio foi realizado em 01 de novembro de 2019 em vasos com capacidade volumétrica de 11 litros cada, com cultivo individual (um “rizoma de plantio” por vaso). O substrato empregado correspondeu a uma mescla de 30% de perlita (Pervale®) e 70% de substrato orgânico (Bioplant® Plus), com adição de fertilizante a base de N:P:K (10:10:10). As plantas foram irrigadas durante todo o período avaliado (aspergindo 250,0 cm<sup>3</sup> de água por planta diariamente).

### *Coleta*

As coletas das amostras de araruta foram realizadas em função do crescimento fenológico das plantas, baseado na escala BBCH (*Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt und Chemische Industrie scale*) estabelecida por Brito et al. (2019). Para o preparo dos extratos, aos 80 dias de cultivo foi realizada a coleta da parte aérea da planta, quando essa já apresentava a quinta folha expandida, correspondendo ao estágio BBCH 15.

### *Elaboração dos extratos*

Após a coleta, as hastes e folhas foram processadas separadamente para a preparação do extrato metanólico. Assim, os materiais vegetais (40g massa úmida) foram triturados em fragmentos de 0,5 x 0,5 cm e suspensos em 200 mL de etanol 99,8% absoluto. Em seguida, foram acondicionados a 60°C sob agitação constante durante 15 minutos. Após este

procedimento, as suspensões foram filtradas em gaze (malha de 0,5 mm), e sequencialmente em papel de filtro qualitativo, conforme Silva et al. (2010). Os extratos filtrados foram submetidos à volatilização do solvente empregando evaporador rotativo, e assim obtidas emulsões homogêneas dos extratos da haste (EH) e folha (EF).

### *Prospecção fitoquímica*

As análises de prospecção fitoquímica foram realizadas em extratos etanólicos (99.8%) das hastes (EH) e folhas (EF) de araruta em uma concentração de 2.6 mg mL<sup>-1</sup>, seguindo metodologias padrão para a identificação de presença, ou ausência de compostos fitoquímicos. Para a identificação de compostos fenólicos (reação de precipitação: 2% de cloreto férrico; 10% de acetato de chumbo e 4% de acetato de cobre), taninos (reação de sal de ferro e precipitação de proteínas), cumarinas (análise sob luz ultravioleta), esteróides e triterpenos (reação de Liebermann-Burchard), heterosídeos cianogênicos (papel picro-sódico), saponina (índice de espumação), alcaloides (teste de Dragendorff), antocianinas (antocianidinas, flavonas, flavonoides, chantonas, chalconas, auronas e flavonóis), antraquinonas (reação de Bornträger), seguindo a metodologia de Matos (2009).

Os extratos de araruta foram analisados três vezes e comparados à amostra controle (2.6 mg amostra mL<sup>-1</sup> etanol), observando-se alteração da cor e precipitação do filtrado (Costa 2002). As alterações de cor, para cada teste, foram classificadas em parcial ( $\pm$ ), baixa (+), moderada (++) , alta intensidade (+++) e negativa (-). Os testes com formação de precipitado (compostos fenólicos e taninos) foram realizados em tubos graduados (n° 8080, Pyrex®) e considerados como sendo parcial (menos de 0.2 cm), baixo (0.2 a 0.5 cm), moderado (0.5 a 0.7 cm) e alta intensidade (0.7 a 1 cm) (Fontoura et al. 2015).

### *Quantificação Compostos fenólicos totais, flavonoides e taninos condensados*

A concentração de compostos fenólicos totais dos extratos foi determinada por espectrofotometria (T70 UV / VIS Spectrometer, PG Instruments Ltd), usando o reagente Folin-Ciocalteu (Meda et al., 2005), e os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico/g de extrato ( $\text{mg EAG}^{-1}$ ). O conteúdo total de flavonoides foi determinado utilizando uma solução de cloreto de alumínio a 2% em metanol como reagente, resultando em um valor médio expresso em mg equivalentes de quercetina  $\text{g}^{-1}$  de extrato ( $\text{mg EQ}^{-1}$ ) (Liberio et al. 2011). A quantidade de taninos condensados também foi determinada por método espectrofotométrico, utilizando uma solução de vanilina em metanol 8% acidificado (Rocha et al. 2011). Os resultados foram expressos em mg equivalentes de catequina  $\text{g}^{-1}$  de extrato ( $\text{mg EC}^{-1}$ ). Os testes ocorreram em três experimentos independentes em triplicata.

#### *Análise cromatográfica LC-6AD*

Os extratos EH e EF da araruta foram solubilizados em água:metanol (7:3 v:v) e avaliados em uma coluna analítica LC (LC-6AD Shimadzu, Kyoto, Japão) com o auxílio de um sistema detector de fotodiodo (PDA) que foi monitorado entre os comprimentos de onda  $\lambda = 200\text{-}800$  nm. Em um aparelho analítico LC, onde a coluna era ODS HYPERSIL (C-18, 150 mm de comprimento x 4,6 mm de diâmetro, Thermo Electron Corporation). O quociente de fluxo e o volume de injeção foram, respectivamente,  $0,6\text{mL min}^{-1}$  e  $5\mu\text{L}$ . Todas as análises cromatográficas ocorreram a uma temperatura de  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . O gradiente de eluição consistiu em fase móvel A (água, formato de amônio 5 mM e ácido fórmico 0,1%) e fase móvel B (metanol, formiato de amônio 5 mM e ácido fórmico 0,1%). O programa de gradiente com as seguintes proporções de solvente B foi aplicado t(min), B%: (0, 40), (20, 90), (23,99, 90), (24,40), (29, 40). Foram utilizadas amostras de ácido cafeico, ácido férrico, ácido rosmarínico, ácido clorogênico, rutina, quercetina, luteolina e apigenina (Sigma, 98%), preparadas em metanol-água na concentração de  $1000\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$  em água:metanol 1:1 v:v.

A identificação dos compostos com auxílio do detector de varredura PDA na faixa espectral de 200-800 nm não revelou interferências no tempo de retenção das amostras em LC pelo método de eluição desenvolvido. Os padrões foram facilmente identificados e quantificados com base em seus espectros de absorção na região do UV e no tempo de retenção. Os padrões encontrados nos extratos foram identificados de forma inequívoca pela realização de experimentos de injeção conjunta nos quais alíquotas dos extratos e padrões foram misturados e diluídos para um volume conhecido e analisados por LC. As curvas de calibração foram determinadas por regressão linear usando LC. A linearidade dos padrões foi avaliada para 10 intervalos de concentração.

Os erros padrão médios para as áreas de pico de injeções replicadas ( $n = 5$ ) foram inferiores a 2%, mostrando assim, boa repetibilidade da curva de calibração. Os respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) foram 0.9992 para ácido cafeico, ácido férrico, ácido rosmarínico, ácido clorogênico e rutina e  $r^2 = 0.9994$  para quercetina, luteolina e apigenina.

#### *Colônias experimentais e bioensaios com Spodoptera frugiperda*

As lagartas de *Spodoptera frugiperda* foram coletadas na cultura do milho instalada na Fazenda Escola da Universidade Católica Dom Bosco (20°26'S, 54°38'W, 532 m). Em laboratório as colônias foram replicadas e mantidas em uma temperatura média de 25°C e 60% de umidade, sobre fotoperíodo de 14 horas. As larvas foram alimentadas com dieta artificial seguindo a metodologia proposta por Parra (2001).

A toxicidade aguda, determinada por meio de aplicação tópica, foi medida como mortalidade após 24 h de exposição. Para os testes foram utilizadas larvas de 3º ínstar de *S. frugiperda* seguindo a metodologia proposta por Pavela et al. (2017). Os extratos de araruta (EH e EF) foram suspensos em acetona PA, e cada larva recebeu 1  $\mu\text{L}$  da solução. Foram utilizadas quatro concentrações diferentes (2,5  $\text{mg mL}^{-1}$ , 5  $\text{mg mL}^{-1}$ , 10  $\text{mg mL}^{-1}$  e 15  $\text{mg mL}^{-1}$ ).



<sup>1</sup>), utilizando somente a aplicação com acetona como tratamento controle ( $0 \text{ mg mL}^{-1}$ ) para os dois extratos. Em cada tratamento foram empregadas 30 lagartas, aplicando os extratos na região protorácica do inseto, individualmente. Todas as lagartas tratadas de cada repetição foram transferidas para tubos de dieta de fundo chato (2,5 cm de diâmetro x 8,5 cm de altura), contendo dieta artificial proposta por Parra (2001), sendo armazenados em câmara de crescimento a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , UR.  $60 \pm 10\%$  com fotoperíodo de 12 horas. Para a obtenção dos resultados do teste agudo os tubos foram conferidos após 24h da aplicação dos extratos, e a mortalidade registrada quando as lagartas não respondiam ao estímulo com uma pinça.

Nos bioensaios via oral também se utilizou lagartas de terceiro ínstar, com 30 lagartas compondo cada tratamento. Para análise das variáveis, seguiu o modelo de delineamento inteiramente casualizado com diferentes números de repetições. Os extratos de araruta (EH e EF) foram adicionados a dieta artificial das lagartas em uma concentração de 0.1%. As dietas com os dois tratamentos, além do controle sem extrato, foram acondicionadas em tubos de vidro de fundo chato (2,5 cm de diâmetro x 8,5 cm de altura) (Greene et al. 1976; Parra, 2001). As variáveis avaliadas foram: mortalidade larval, desenvolvimento larval e pupal, peso pupal, postura e viabilidade dos ovos. As pupas foram pesadas em balança eletrônica de precisão após 24 horas da mudança de estágio de larva, para pupa.

Para as análises das variáveis postura e viabilidade de ovos, foram formados casais de adultos nos três tratamentos (controle, extrato da haste e extrato da folha). Para cada tratamento, quatro casais de adultos (quando houvesse) foram acondicionados em gaiolas de PVC, forradas nas laterais com papel filtro, tampadas na parte superior com tecido tipo organza e a parte inferior apoiado em prato plástico forrado com papel filtro para a postura de ovos. Os casais foram alimentados com solução de mel a 10% sendo trocado a cada dois dias. As massas de ovos foram recortadas diariamente do papel filtro, identificadas e colocadas em vidro relógio para contagem de lagartas eclodidas visando determinar a viabilidade de ovos por tratamento.

Para contagem total dos ovos utilizou-se um microscópio estereoscópico, e o número total de ovos foi dividido pelo número de fêmeas em cada tratamento. A mortalidade crônica foi avaliada pela porcentagem entre o número de insetos pragas iniciais e o número de mortes no período larval. Já a mortalidade aguda foi estabelecida após 24 horas do início dos testes.

#### *Colônias experimentais e bioensaios com *Aedes aegypti**

Os ovos de *Aedes aegypti* foram adquiridos a partir da colônia F1 da criação estoque do laboratório em adaptações ao método de Serpa et al. (2008). Para criação da colônia, os ovos foram submersos em água de clorada com pH corrigido através da adição de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) na faixa de 6.5 a 7.0. As larvas eclodidas receberam alimentação artificial segundo a metodologia de Consoli et al. (1988) e Laranja et al. (2003). Na fase adulta, os machos foram alimentados com solução de sacarose a 8% e as fêmeas adultas com dois repastos sanguíneos por semana, durante 90 minutos.

Os bioensaios foram realizados em quadruplicata com larvas de terceiro ínstar, totalizando 100 indivíduos, divididos em quatro repetições com 25 larvas em 25 mL de solução com os tratamentos. Os testes foram realizados no período de 12 de dezembro de 2019 a 10 de janeiro de 2020. Os tratamentos utilizaram os dois extratos (EH e EF) diluídos em água com adição de 10% de DMSO (Dimetilsulfóxido), na concentração de  $0,5 \text{ mg mL}^{-1}$ . O grupo controle foi mantido em água destilada com 10% de DMSO. Os parâmetros analisados para o teste de exposição crônica foram: mortalidade larval e pupal, desenvolvimento larval e pupal e emergência de adultos com leituras realizadas a cada 24h. Enquanto no teste de exposição aguda, foi determinada a mortalidade larval no período de 24h.

#### *Atividade inibidora da colinesterase sérica (ChE)*

O princípio do método utilizado está estabelecido na reação colorimétrica, onde a colinesterase sérica hidrolisa a propioniltiocolina, liberando o tiocolina que reage com o ácido 5,5-dithiobis-2-nitrozóico (DTNB, reagente de cor) levando a formação de um composto amarelo com absorção a 410 nm, adaptado de Ellman et al. (1961) e Santos e Mostardeiro (2008). A reação para o cálculo do fator de calibração foi reproduzida em triplicata contendo água destilada (4,0 mL), reagente de cor (3,0 mL) e enzima em pó reconstituída (20 µL), onde o controle branco (negativo) continha apenas água e reagente de cor nas mesmas condições. O material foi homogeneizado e lido a 410 nm, descartando-se a absorbância do controle branco. Os valores da leitura obtidos em absorbância foram aplicados na fórmula: Fator (F) = 7 / absorbância calibração (média). Para a curva de calibração foram utilizadas as diluições segundo o padrão estabelecido no método: 0; 1.875; 3.75; 7.0; 10.5; 14.0 e 17.5 UI mL<sup>-1</sup>, considerando o valor para o cálculo do fator de calibração fixo em 7 UI mL<sup>-1</sup> de enzima.

A inibição enzimática foi estabelecida numa reação contendo os extratos na concentração de 0.5 g L<sup>-1</sup>, em temperatura controlada de 37°C, com uma atividade enzimática estabelecida em 7.0 UI mL<sup>-1</sup>. Para a reação utilizou-se 1.0 mL de propioniltiocolina, 3.0 mL de DTNB e 20 µL de extrato, que foram submetidos a aquecimento em banho-maria por 2 minutos e 30 segundos. A amostra foi homogeneizada, acrescentando-se posteriormente 20 µL de solução enzimática e, após 30 segundos a amostra retornou ao banho-maria por mais 30 segundos com adição de 3.0 mL de solução inibidora da reação. O material foi então homogeneizado e submetido a leitura em espectrofotômetro, que foi previamente calibrado com uma solução contendo apenas água e reagente de cor a 410 nm. Acompanhando os testes, foi determinado um padrão positivo contendo propioniltiocolina, reagente de cor, e enzima, e outro definido como padrão negativo contendo reagente de cor e amostra. O padrão negativo foi estabelecido para eliminar possíveis contaminações e viés de quantificações de falso-positivo.

### *Análise estatística*

As porcentagens de mortalidade de *S. frugiperda* obtidas nos testes de aplicação tópica foram plotadas em gráfico de dispersão, com as diferentes concentrações testadas após 24h da aplicação dos extratos. As mortalidades observadas foram corrigidas usando a fórmula de Abbott (ABBOTT, 1925). Nos bioensaios via oral realizados em *S. frugiperda* as comparações estatísticas foram realizadas através das definições das médias, desvios padrões, coeficientes de variação e análises de variância (ANOVA), seguidas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) nos parâmetros de desenvolvimento larval, pupal e no peso das pupas, utilizando o programa SISVAR (Ferreira 2011).

Nos bioensaios realizados em *A. aegypti* foram calculados os desvios padrões, a média e o coeficiente de variação entre as repetições em todos os parâmetros analisados. Posteriormente, foi aplicado o teste de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação das médias usando o programa SISVAR (Ferreira, 2011).

Na quantificação de inibição da ChE foram estabelecidos os desvios padrões e o coeficiente de variação (%). Para transformação dos valores em unidades de Colinesterase (UI mL<sup>-1</sup>), foi aplicada a fórmula: Colinesterase (UI mL<sup>-1</sup>) = T x Fator (F). Os valores médios foram então comparados através da análise de variância por (ANOVA) e teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) usando o programa SISVAR (Ferreira, 2011).

## **Resultados**

### *Composição*

O processamento da planta de araruta (*M. arundinacea*) apresentou rendimento de 0.58 e 5.16%, para a elaboração dos extratos da haste (EH) e folha (EF), respectivamente. As análises fitoquímicas qualitativas dos extratos etanólicos da espécie indicaram presença de fenólicos, taninos, alcaloides, cumarinas, saponinas, flavonas, flavonoides e xantonas em ambos os

extratos. No entanto, o extrato EF possui esteroides, o que não foi detectado no extrato EH (Tabela 1). A partir da triagem fitoquímica qualitativa, foram realizadas análises espectrofotométricas quantitativas dos extratos, que mostraram o teor de compostos fenólicos em  $95.2 \pm 1.1$  (EH) e  $196.7 \pm 1.4$  (EF) mg GAE g<sup>-1</sup>, já o teor de flavonoides foi de  $58.1 \pm 0.8$  (EH) e  $103.6 \pm 1.1$  (EF) mg EQ g<sup>-1</sup> e o conteúdo de taninos alcançou  $0.89 \pm 0.02$  (EH) e  $1.72 \pm 0.03$  (EF) mg EC g<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabela 1** Constituintes fitoquímicos dos extratos estanólicos de hastes (EH) e folhas (EF) de araruta (*Maranta arundinacea* L.).

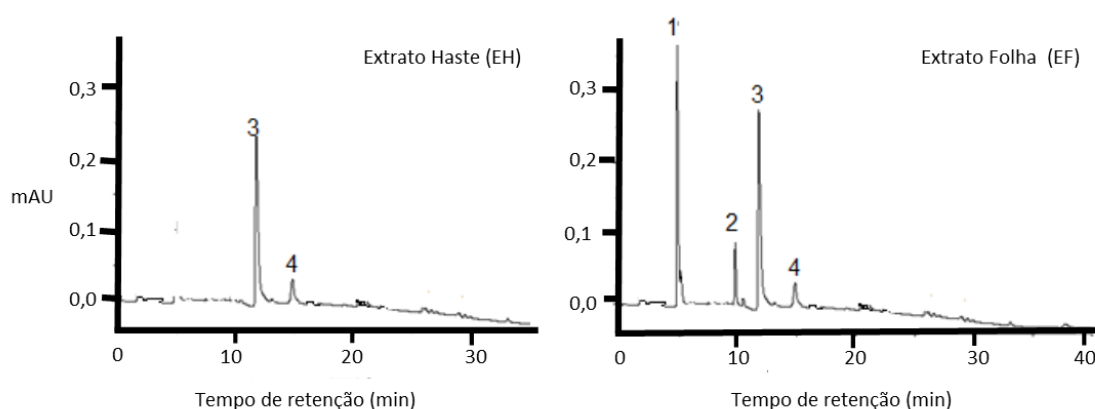
Classe Química	EH	EF
Fenólicos	+++	+++
Taninos	±	+
Alcaloides	+++	+++
Esteroides	-	+
Triterpenos	-	-
Cumarinas	+	++
Antraquinonas	-	-
Saponinas	+	++
Flavonas, Flavonoides e Xantonas	+++	+++
Flavonóis	-	-
Antocianidinas	-	-
Chalconas e Auronas	-	-
Glicosídeos Cianogênicos	-	-

(±), baixa (+), moderada (++), alta intensidade (+++), negativa (-).

Após os resultados da triagem fitoquímica, foram realizadas análises cromatográficas direcionadas para a identificação de compostos que possuem atividade inseticida. Os cromatogramas de LC-PDA mostraram duas substâncias presentes no extrato EH e quatro no extrato EF, as quais são identificadas na Tabela 2 e Fig 1. O componente majoritário presente no EH é a rutina (97.3 mg g<sup>-1</sup>), seguida pela quercetina (35.7 mg g<sup>-1</sup>). Para o extrato EF o componente majoritário é o ácido clorogênico (149.8 mg g<sup>-1</sup>), seguido pela rutina (115.8 mg g<sup>-1</sup>), ácido rosmarínico (62.7 mg g<sup>-1</sup>) e quercetina (38.4 mg g<sup>-1</sup>).

**Tabela 2** Composição química obtida por análise LC-PDA dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta (*Maranta arundinacea* L.).

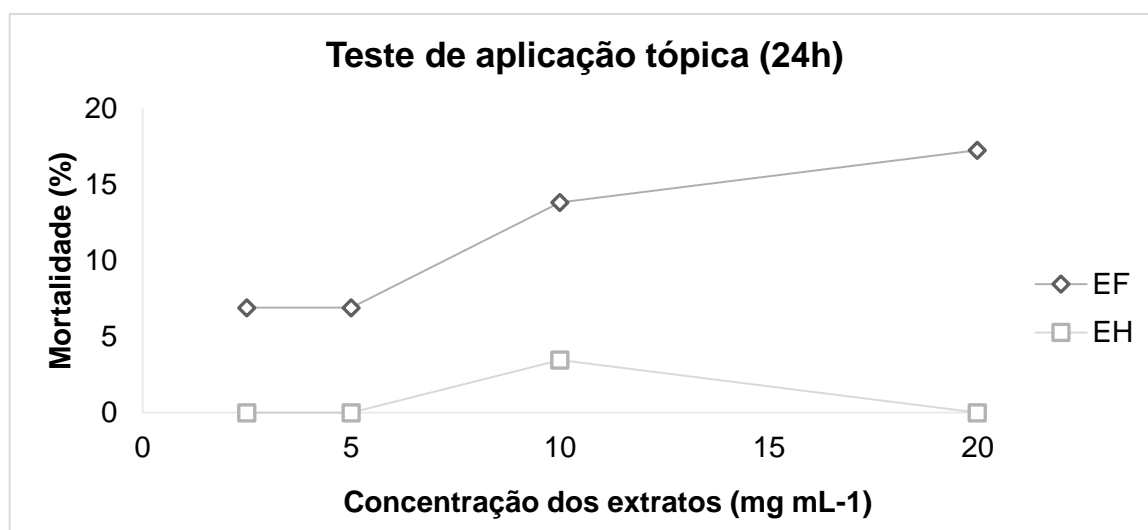
Tempo de retenção (min)	Pico	Composto	EH (mg g <sup>-1</sup> ± DP)	EF (mg g <sup>-1</sup> ± DP)
5.31	1	Ácido clorogênico	-	149.8±0.8
9.63	2	Ácido rosmarínico	-	62.7±0.6
11.25	3	Rutina	97.3 ± 0.1	115.8±0.6
14.04	4	Quercetina	35.7 ± 0.2	38.4± .4



**Fig 1** Cromatograma de LC-PDA dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta (*Maranta arundinacea* L.).

### Bioensaios com *Spodoptera frugiperda*

Após a caracterização do perfil fitoquímico dos extratos de araruta (EH e EF), os mesmos, foram utilizados para dar início aos bioensaios de aplicação tópica em lagartas de terceiro ínstar de *S. frugiperda*. Os resultados sobre a mortalidade aguda das lagartas, após 24h de exposição são apresentados na Fig 2. Na avaliação da mortalidade aguda, o EH não apresentou porcentagens significativas de mortes, demonstrando que a aplicação do extrato não causou efeito sobre a mortalidade das lagartas. O extrato EF apresentou 17,24% de mortalidade na maior concentração de 15 mg mL<sup>-1</sup>, ficando distante da mortalidade de 80% necessária para estimar as concentrações letais (CL) dos extratos frente a lagarta-do-cartucho (Carvalho et al. 2017).



**Fig 2** Efeito dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta (*Maranta arundinacea* L.) em diferentes concentrações com aplicação tópica sobre *S. frugiperda*.

Os testes de avaliação para a confirmação de atividade inseticida dos extratos de araruta foram realizados com lagartas de terceiro ínstar da espécie *S. frugiperda* e os resultados estão dispostos na Tabela 3. Constatou-se uma diminuição significativa no peso das pupas de lagarta-

do-cartucho no tratamento EF (97.07 mg), em relação ao EH (250.02 mg) e ao controle (219.22 mg). No entanto, não houve alteração significativa no período de desenvolvimento larval e pupal dos tratamentos EH e EF, levando em consideração o tratamento controle.

Os extratos não provocaram efeito de mortalidade aguda após 24h do início dos testes. Durante o desenvolvimento larval da praga, a porcentagem de mortalidade dos extratos EH (53.85%) e EF (83.33%) foram superiores a mortalidade encontrada no tratamento controle (40%). Os extratos também interferiram na fase reprodutiva da espécie, inviabilizando a oviposição no tratamento EH e a eclosão dos ovos nos dois tratamentos EH e EF, enquanto o controle apresentou 237.57 ovos por fêmea, com viabilidade de 61%.

**Tabela 3.** Efeito dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta (*Maranta arundinacea* L.) na concentração de 1 mg mL<sup>-1</sup> sobre a evolução do ciclo biológico de *Spodoptera frugiperda*.

<b>Teste Crônico em <i>Spodoptera frugiperda</i></b>					
<b>Parâmetros</b>	<b>Controle</b>	<b>EH</b>	<b>EF</b>	<b>CV%</b>	<b>P</b>
Peso Pupal (mg)	219.22±42.00a	250.02±23.34a	97.07±25.26b	16.10	0.0000
Desenvolvimento Pupal (dias)	10.07±0.59a	10.08±0.51a	10.00±0.82a	5.89	0.9707
Desenvolvimento Larval (dias)	19.87±0.74a	19.92±0.79a	20.25±0.50a	3.72	0.6559
Mortalidade Larval (%)	40	53.85	83.33	-	-
Número de ovos por fêmea	237.57	0	101.50	-	-
Viabilidade de ovos (%)	61	0	0	-	-
<b>Teste Agudo em <i>Spodoptera frugiperda</i></b>					
Mortalidade (%)	4	0	4.17	-	-

As médias ( $X \pm$  desvio padrão) em linha seguidas pelas mesmas letras não divergem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### *Bioensaios com Aedes aegypti*

As avaliações da ação dos extratos de araruta sobre o desenvolvimento de larvas de *A. aegypti* foram realizadas durante 30 dias e os resultados estão expostos na Tabela 4.

**Tabela 4.** Efeito dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta (*Maranta arundinacea* L.) na concentração de 500 µg mL<sup>-1</sup> sobre a evolução do ciclo biológico do *Aedes aegypti*.



<b>Teste Crônico em <i>Aedes aegypti</i></b>					
<b>Parâmetros</b>	<b>Controle</b>	<b>EH</b>	<b>EF</b>	<b>CV%</b>	<b>P</b>
Desenvolvimento Larval (dias)	10.24±0.41a	28.73±1.79b	30.00±0.00c	13.00	0.0000
Desenvolvimento Pupal (dias)	3.39±0.08b	3.39±0.53b	0.00±0,00a	19.15	0.0000
Mortalidade Larval (%)	14.00±2.31a	2.00±2.31 <sup>a</sup>	22.00±17.74a	82.21	0.0658
Mortalidade Pupal (%)	3.00±2.00b	0.00±0.00a	0.00±0.00a	115.47	0.0071
Emergência de Alados (%)	83.00±3.83b	8.00±10.83 <sup>a</sup>	0.00±0.00a	21.87	0.0000
<b>Teste Agudo em <i>Aedes aegypti</i></b>					
Mortalidade (%)	1.00±2.00a	1.00±1.25 <sup>a</sup>	2.00±2.31a	158.11	0.7479

As médias ( $X \pm$  desvio padrão) em linha seguidas pelas mesmas letras não divergem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os extratos não foram capazes de produzir efeito agudo de mortalidade em 24h sobre as larvas de *A. aegypti*, mas causaram alterações no ciclo biológico do mosquito-da-dengue. Houve um aumento significativo no período de desenvolvimento larval da espécie, além disso, no tratamento com o extrato EF não houve o desenvolvimento de pupas e adultos, estagnando completamente a evolução fisiológica do inseto.

#### *Atividade inibidora da colinesterase sérica (ChE)*

Além da elucidação do perfil fitoquímico dos extratos de araruta (EH e EF), também foi testada a atividade de inibição enzimática frente a colinesterase sérica (ChE). Os resultados foram obtidos em triplicata por espectrofotometria e estão listados na Tabela 5. Houve diminuição na atividade enzimática da ChE na presença dos extratos EH e EF em relação ao tratamento controle, com isso os resultados mostraram-se satisfatórios, pois a ação da enzima se manteve dentro dos níveis de normalidade, que são definidos entre 5 e 12 UI mL<sup>-1</sup>.

**Tabela 5.** Atividade inibidora da colinesterase sérica (ChE) dos extratos da haste (EH) e folha (EF) de araruta (*Maranta arundinacea* L.).

<b>Tratamentos</b>	<b>UI mL<sup>-1</sup></b>
Controle	9.21 ± 0.03 c

EH	5.54 ± 0.09 a
EF	5.91 ± 0.07 b
CV%	0.98

As médias ( $X \pm$  desvio padrão) em coluna seguidas pelas mesmas letras não divergem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O extrato EH apresentou ( $5.54 \text{ UI mL}^{-1}$ ) e o EF ( $5.91 \text{ UI mL}^{-1}$ ). Dessa forma, as amostras não interferiram na ação enzimática, ou seja, não causam alteração do efeito colinérgico e, conseqüentemente, não indicam neurotoxicidade aos mamíferos e outros organismos não-alvo.

## Discussão

As plantas possuem mecanismos de defesa contra predadores e muitos deles envolvem a presença e liberação de compostos químicos (Macel and van Dan 2018). Graças a artifícios como a cromatografia líquida, inúmeros compostos foram identificados por possuírem atividade inseticida. É o caso do ácido clorogênico, relatado em inúmeros estudos por participar ativamente na defesa das plantas (Kundu and Vadassary 2018; Liao et al. 2020; Sabino et al. 2019). O ácido clorogênico é o composto que está majoritariamente presente no extrato das folhas (EF), e provocou uma alta mortalidade larval, redução de peso de pupas e inviabilidade dos ovos nos ensaios via oral em *S. frugiperda*. Um estudo desenvolvido por Sabino et al. (2019) revela a produção de ácido clorogênico em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L), como resposta ao ataque da broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis* Fab.) e aponta o composto, como um biomarcador importante para os programas de melhoramento vegetal da cultura. O mesmo foi observado por Liao et al. (2020), na resposta química de batata-doce (*Ipomea batatas* L.) ao ataque do gorgulho da batata-doce (*Cylas formicarius* Fab.).

Singh et al. (2016) relatam que o ácido clorogênico isolado em seus estudos atuou diretamente sobre as alfa-glicosidases presentes no intestino de *Spodoptera litura* (Fab.), causando aumento da mortalidade ( $LC_{50} = 450 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) e infertilidade de ovos, resultados que

corroboram com o que foi obtido na presente pesquisa. Um dos modos de ação do ácido clorogênico foi relatado por Felton et al. (1989, 1991), onde o efeito pró-oxidante do composto foi apontado como o responsável por suas propriedades anti-herbívora. O ácido clorogênico é transformado em clorogenoquinona pela peroxidase celular do inseto, que se liga aos aminoácidos livres em seu intestino (cisteína, histidina, metionina e lisina), causando como consequência, uma redução na biodisponibilidade dos aminoácidos e proteínas para os insetos. Isso leva a um menor valor nutricional para os herbívoros e provoca redução do crescimento, resultado obtido no tratamento via oral com o extrato EF.

Outro fitoquímico identificado no extrato de folhas (EF) foi o ácido rosmarínico conhecido por suas atividades adstringente, antimutagênica, antibacteriana, antiviral, antifúngica, antiinflamatória e antioxidante (Dashti et al. 2016; Fernando et al. 2016; Han et al. 2015; Lucarini et al. 2013; Trocsanyi et al. 2015; Yerra et al. 2014). Mas além das bioatividades supracitadas, um estudo desenvolvido por Simmonds et al. (2019) comprovou que o ácido rosmarínico presente em *Canna generalis* ativa o neurônio dissuasor medial da lepidóptera *Manduca sexta* (Johan.), impedindo a sua alimentação na concentração de 1mM. Khan et al. (2019) também descreveram o efeito do ácido rosmarínico isolado de *Isodun rugosus* (Wall. ex Benth) contra ninfas do pulgão *Acyrtosiphon pisum* (Harris), que estagnou o crescimento do inseto e apresentou LC<sub>90</sub> de 5.8 µg mL<sup>-1</sup>. O ácido rosmarínico, assim como o clorogênico são derivados do ácido cafeico, e os dois demonstram ter um papel importante na defesa dos vegetais contra o ataque de insetos pragas. Dessa forma, o melhor desempenho do extrato EF contra *S. frugiperda* e *A. aegypti* pode ser atribuído a presença desses compostos.

Apesar do melhor desempenho do extrato EF, o EH também provocou alterações no ciclo biológico de ambas as espécies de insetos. Selin-Rani et al. (2016) extraíram quercetina de *Euphorbia hirta* (L.), testando-a contra *Spodoptera litura*, e obtiveram resultados expressivos de mortalidade, chegando a 90% na concentração de 50 µg mL<sup>-1</sup>, além disso, o

composto também diminuiu o peso larval e a viabilidade de ovos. Su et al. (2017) também testaram a atividade de alguns flavonoides sobre o desenvolvimento de *S. litura*. Os tratamentos com quercetina demonstraram o menor ganho de peso das larvas e a segunda maior mortalidade (42.5%) entre os flavonoides testados, ficando atrás somente da rutina que causou mortalidade de 47.5%, ambas na concentração de 1 mg mL<sup>-1</sup>.

Nos estudos desenvolvidos por Bentivenha et al. (2018), com diferentes cultivares de soja (*Glycine Max* L) observou-se um aumento significativo nos níveis de rutina nas plantas atacadas por *Piezodorus guildinii* (West), um indicativo que a rutina também pode atuar como substância de defesa contra pragas. O que é comprovado por Pandey et al. (2012), que induziram a produção de rutina em calos de tabaco transgênico (*Nicotiana tabacum* cv. Petit Havana) e testaram seus extratos em *S. litura* e *Helicoverpa armigera* (Hübner), reduzindo o crescimento das pragas e apresentando mortalidade de 30 e 40%, respectivamente na concentração de 2 mg g<sup>-1</sup>. Além disso, Movva and Pathipati (2017) constataram que a eficiência da oviposição, o crescimento larval e as atividades das enzimas de desintoxicação foram alteradas em *S. litura* exposta a 50 µg de fenóis vegetais aplicados na folha da pimenta *Capsicum annuum* L. utilizada na sua alimentação, e entre eles está a rutina (tratamento com menor índice de oviposição).

Em pesquisas elaboradas por Abdelgaleil et al. (2019) são testados extratos aquosos do rizoma de *Curcuma longa* (L) contra *Spodoptera littoralis* (Boisd) por aplicação tópica. Os extratos testados em *S. littoralis* exibiram efeito tóxico moderado após 24 horas de tratamento, causando mortalidade inferior a 50% na concentração máxima (1000 mg L<sup>-1</sup>), resultado que corrobora com os dados encontrados no presente trabalho. Os resultados do ensaio via oral, indicando diminuição do peso pupal e viabilidade de ovos em *S. frugiperda* pela ação dos extratos de araruta, foram semelhantes aos encontrados por Sâmia et al. (2016), utilizando extratos aquosos de *Copaifera langsdorffii* (Desf) em larvas de segundo ínstar da praga na concentração de 50 mg mL<sup>-1</sup>. Torres et al. (2001) relatam que as alterações fisiológicas citadas,

podem estar associadas à presença de inibidores de crescimento, ou substâncias que interferem na conversão e/ou ingestão de alimentos. O que é reforçado no estudo de Costa et al. (2004), que também relacionam a inibição de oviposição ou redução no número de ovos, com modificações nutricionais induzidas por compostos fitoquímicos.

Os extratos EH e EF testados neste estudo atrasaram o desenvolvimento larval e interferiram diretamente no surgimento de adultos alados de *A. aegypti*, efeitos também relatados por Coelho et al. (2009) em extratos aquosos de sementes *Moringa oleífera* (Lam) frente ao vetor. O prolongamento da fase larval expõe os insetos a predadores, parasitoides e organismos entomopatogênicos por um maior período de tempo, resultando em um aumento na sua taxa de mortalidade (Akhtar et al., 2010; Akhtar et al., 2012). As alterações no ciclo biológico de *A. aegypti*, assim como a diminuição no peso de pupas, na oviposição e na viabilidade de ovos encontradas em *S. frugiperda*, também são características dos mesmos fatores, relacionados à presença de inibidores de crescimento, ou substâncias que modificam o desempenho alimentar (Torres et al., 2001; Sâmia et al., 2016; Almeida et al., 2017). Essas intercorrências podem estar relacionadas à atividade dos compostos fenólicos que interferem na ação de enzimas, o que foi relatado por Movva and Pathipati (2017), onde a exposição dietética de *S. litura* aos fenóis afetou as dinâmicas enzimáticas no inseto, aumentando inclusive, a atividade inibidora da colinesterase, o que indica estresse oxidativo no conteúdo intestinal da lagarta.

As colinesterases (ChE) são enzimas responsáveis pela hidrólise da acetilcolina, neurotransmissor responsável pela transmissão dos impulsos nervosos. A inibição das colinesterases é tratada como um indicativo de envenenamento por compostos organofosforados e carbamatos (Thompson and Walker 2020). Segundo Casida e Durkin (2012) um dos maiores problemas dos inseticidas comuns como os organofosforados, os anticolinesterásicos e os metilcarbamatos, atualmente, são os seus mecanismos de ação para o

organismo-alvo (insetos), pois estes também podem causar toxicidade em humanos e outros mamíferos. Os níveis de colinesterases séricas são monitorados para avaliar a exposição dos operadores de pulverização aos compostos supracitados, e também são utilizados para estudar os efeitos desses compostos nos demais organismos (Thompson and Walker 2020). O uso recorrente desse tipo de inseticida também tem gerado um mecanismo de resistência em insetos pela insensibilidade da ChE à ação dos inseticidas (Guo et al. 2017). Dessa forma, pesquisas com inseticidas botânicos, que não possuem o mecanismo de ação citado, são de extrema importância, pois reduzem os riscos para a saúde dos humanos e outros organismos, além de contornarem o mecanismo de resistência adquirido pelos insetos.

Os resultados obtidos indicam a presença de compostos que afetam a dinâmica alimentar, tanto de *S. frugiperda* como de *A. aegypti*, o que pode estar associado a um ou mais dos componentes fitoquímicos identificados nos extratos de araruta. Os resultados positivos quanto à toxicidade e eficácia inseticida contra *S. frugiperda* e *A. aegypti* abrem possibilidades para estudos mais complexos sobre os mecanismos de ação dos constituintes ácido clorogênico, ácido rosmarínico, rutina e quercetina identificados nos extratos EH e EF de araruta. Além disso, a retomada do uso de produtos inseticidas botânicos, em detrimento dos químicos sintéticos, pode ser uma alternativa para o controle natural de insetos vetores e pragas agrícolas, fornecendo ainda, subsídio para a síntese de moléculas ativas.

A pesquisa desenvolvida indica que os compostos ácido clorogênico, ácido rosmarínico, rutina e quercetina, identificados nos extratos de araruta, possuem eficácia inseticida contra *S. frugiperda*, provocando mortalidade larval e infertilidade de ovos na lagarta, enquanto em *A. aegypti* interferiram diretamente no ciclo de vida, cessando o seu desenvolvimento fisiológico. Esse tipo de estudo estimula e valoriza a produção de culturas negligenciadas como a araruta, diversificando as possibilidades de usos da espécie. Além disso, a comprovação de atividade inseticida em extratos vegetais impulsiona as pesquisas nesta área, incrementando o número de

produtos naturais que controlam pragas e vetores, diminuindo também, o uso de fitossanitários sintéticos.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Dr. Nuno Madeira (Embrapa Cenargen, Brasília, DF) por ceder os propágulos de Araruta utilizados na pesquisa e aos demais acadêmicos e pesquisadores que contribuíram com o projeto, agradecendo também, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa.

### **Referências**

Abbott WS (1925) A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. *J Econ Entomol* 18:265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>

Abdelgaleil SAM, El-Bakry A, Zoghroban AAM, Kassem SMI (2019) Insecticidal and antifungal activities of crude extracts and pure compounds from rhizomes of *Curcuma longa* L. (Zingiberaceae). *J Agr Sci Tech* 21:1049-1061

Akhtar Y, Yu Y, Isman MB, Plettner E (2010) Dialkoxybenzene and Dialkoxyallylbenzene Feeding and Oviposition Deterrents against the Cabbage Looper, *Trichoplusia ni*: Potential Insect Behavior Control Agents. *J Agric Food Chem* 58:4983–4991. <https://doi.org/10.1021/jf9045123>

Akhtar Y, Isman MB, Niehaus LA, Lee CH, Lee HS (2012) Antifeedant and toxic effects of naturally occurring and synthetic quinones to the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Crop Prot* 31:8–14. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.09.009>

Almeida VT, Ramos VM, Saqueti MB, Gorni PH, Pacheco CA, Leão RM (2017) Bioactivity of ethanolic extracts of *Euphorbia pulcherrima* on *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Afr J Biotechnol* 16:615–622. <https://doi.org/10.5897/AJB2017.15972>

Assa Y, Shany S, Gestetner B, Tencer Y, Birk Y, Bondi, A (1973) Interaction of alfalfa saponins with components of the erythrocyte membrane in hemolysis. *Biochim Biophys Acta Biomembr* 307:83–91. [https://doi.org/10.1016/0005-2736\(73\)90027-8](https://doi.org/10.1016/0005-2736(73)90027-8)

Benelli G (2015) Research in mosquito control: current challenges for a brighter future. *Parasitol Res* 114:2801–2805. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4586-9>

Benelli G, Pavela R, Drenaggi E, Maggi F (2019) Insecticidal efficacy of the essential oil of jambú (*Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen) cultivated in central Italy against filariasis mosquito vectors, houseflies and moth pests. *J Ethnopharmacol* 229:272–279. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.08.030>

Bentivenha JPF, Canassa VF, Baldin ELL, Borguini MG, Lima GPP, Lourenção AL (2018) Role of the Rutin and Genistein Flavonoids in Soybean Resistance to *Piezodorus guildinii* (Hemiptera: Pentatomidae). *Arthropod-Plant Int* 12:311–320. <https://doi.org/10.1007/s11829-017-9578-5>

Boaventura D, Ulrich J, Lueke B, Bolzan A, Okuma D, Gutbrod O, Geibel S, Zeng Q, Dourado PM, Martinelli S, Flagel L, Head G, Nauen R (2020) Molecular characterization of Cry1F resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* from Brazil. *Insect Biochem Mol Biol* 116:103280. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2019.103280>



Bowers WS (1991) Insect hormones and antihormones in plants. In: Rosenthal GA, Berenbaum MR (eds) *Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites*, 2nd edn. Academic Press, San Diego, pp 431-56

Boyce R, Lenhart A, Kroeger A, Velayudhan R, Roberts B, Horstick O (2013) *Bacillus thuringiensis israelensis* ( Bti ) for the control of dengue vectors: systematic literature review. *Trop Med Int Health* 18:564–577. <https://doi.org/10.1111/tmi.12087>

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Sci Technol* 28:25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Brito V, Godoy-Casagrande V, Narcisa-Oliveira J, Tomielis I, Cereda M, Steinfurt U, Costa R (2019). Phenological stages of arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) according to the Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt und Chemische Industrie scale. *Ann Appl Biol* 175:119–128. <https://doi.org/10.1111/aab.12509>

Casida JE, Durkin KA (2013) Anticholinesterase insecticide retrospective. *Chem-Biol Interact* 203:221–225. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2012.08.002>

Casmuz A, Juárez ML, Socías MG, Murúa MG, Prieto S, Medina S, Willink E, Gastaminza G (2010) Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Rev Soc Entomol Arg* 69:209–231

Cantane DR, Cristino AC, Oliveira RA, Florentino H, Santos FL, Fernandes MA, Ribolla P, Neto JAS (2015) O desenvolvimento da população do *Aedes aegypti* aplicado ao modelo de otimização no controle da Dengue. XLVII SBPO-Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. <http://ws2.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2015/trabalhos-completos.html>. Accessed 20 august 2020

Carvalho JR, Pratisoli D, Vianna UR, Holtz, AM (2017) Análise de probit aplicada a bioensaios com insetos. IFES, Colatina

Coelho JS, Santos ND, Napoleão TH, Gomes FS, Ferreira RS, Zingali RB, Coelho LCBB, Leite SP, Navarro DMAF, Paiva, P. M. (2009) Effect of *Moringa oleifera* lectin on development and mortality of *Aedes aegypti* larvae. *Chemosphere* 77:934–938. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.022>

Consoli RA, Mendes NM, Pereira JP, Santos BDS, Lamounier MA (1988) Influência de diversos derivados de vegetais na sobrevivência das larvas de *Aedes fluviatilis* (Lutz) (Diptera: Culicidae) em laboratório. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 83:87–93. <https://doi.org/10.1590/S0074-02761988000100012>

Costa ELN, SILVA RD, Fiuza LM (2004). Efeitos, aplicações e limitações de extratos de plantas inseticidas. *Acta Biol Leopoldensia*, 26:173-185.

Cruz I, Viana PA, Waquil JM (1999). Manejo das pragas iniciais de milho mediante o tratamento de sementes com inseticidas sistêmicos. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas

Culioli G, Mathe C, Archier P, Vieillescazes C (2003) A lupane triterpene from frankincense (*Boswellia* sp., Burseraceae). *Phytochemistry*, 62:537-541. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00538-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00538-1)

Davies TGE, Field LM, Usherwood PNR, Williamson MS (2007) DDT, pyrethrins, pyrethroids and insect sodium channels. *IUBMB Life* 59:151–162. <https://doi.org/10.1080/15216540701352042>

Dashti A, Soodi M, Amani N (2016) Cr (VI) induced oxidative stress and toxicity in cultured cerebellar granule neurons at different stages of development and protective effect of

Rosmarinic acid: Cr (VI) Induced Neurotoxicity and Oxidative Stress. *Environ Toxicol* 31:269–277. <https://doi.org/10.1002/tox.22041>

Derbalah AS (2012) Efficacy of some botanical extracts against *Trogoderma granarium* in wheat grains with toxicity evaluation. *Sci World J*, 2012:1-9  
<https://doi.org/10.1100/2012/639854>

Dewick PM (2009) Medicinal natural products: a biosynthetic approach, 3rd edition. Wiley, A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, Chichester, West Sussex, United Kingdom

Dolma SK, Sharma E, Gulati A, Reddy SGE (2018) Insecticidal activities of tea saponin against diamondback moth, *Plutella xylostella* and aphid, *Aphis craccivora*. *Toxin Rev* 37:52–55.  
<https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1318405>

Early R, González-Moreno P, Murphy ST, Day R (2018) Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. *NB* 40:25–50.  
<https://doi.org/10.3897/neobiota.40.28165>

Eichenseer H, Strohbahn R, Burks JC (2008) Frequency and Severity of Western Bean Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) Ear Damage in Transgenic Corn Hybrids Expressing Different *Bacillus thuringiensis* Cry Toxins. *J Econ Entomol* 101:555–563.  
<https://doi.org/10.1093/jee/101.2.555>

Ellman GL, Courtney KD, Andres V, Featherstone RM (1961) A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem Pharmacol* 7:88–95.  
[https://doi.org/10.1016/0006-2952\(61\)90145-9](https://doi.org/10.1016/0006-2952(61)90145-9)

Felton GW, Donato K, Del Vecchio RJ, Duffey SS (1989) Activation of plant foliar oxidases by insect feeding reduces nutritive quality of foliage for noctuid herbivores. *J Chem Ecol* 15:2667–2694. <https://doi.org/10.1007/BF01014725>

Felton GW, Donato KK, Broadway RM, Duffey SS (1992) Impact of oxidized plant phenolics on the nutritional quality of dietar protein to a noctuid herbivore, *Spodoptera exigua*. *J Insect Physiol* 38:277–285. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(92\)90128-Z](https://doi.org/10.1016/0022-1910(92)90128-Z)

Fernando PMDJ, Piao MJ, Kang KA, Ryu WS, Hewage SRKM, Chae SW, Hyun JW (2016) Rosmarinic Acid Attenuates Cell Damage against UVB Radiation-Induced Oxidative Stress via Enhancing Antioxidant Effects in Human HaCaT Cells. *Biomol Ther* 24:75–84. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2015.069>

Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc Agrotec* 35:1039–1042. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

Figueiredo LTM (2015) The recent arbovirus disease epidemic in Brazil. *Rev Soc Bras Med Trop* 48:233–234. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0179-2015>

Greene GL, Leppla NC, Dickerson WA (1976) Velvetbean Caterpillar: A Rearing Procedure and Artificial Medium<sup>123</sup>. *J Econ Entomol* 69:487–488. <https://doi.org/10.1093/jee/69.4.487>

Guilherme DO, Branco FP, Madeira NR, Brito VH, Oliveira CE, Jadoski CJ, Cereda MP (2019) Starch Valorization From Corm, Tuber, Rhizome, and Root Crops: The Arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) Case. In: *Starches for Food Application*. Elsevier, pp 167–222 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00005-8>

Guo D, Luo J, Zhou Y, Xiao H, He K, Yin C, Xu J, Li F (2017) ACE: an efficient and sensitive tool to detect insecticide resistance-associated mutations in insect acetylcholinesterase from RNA-Seq data. *BMC Bioinformatics* 18:330. <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1741-6>

Guy B, Guirakhoo F, Barban V, Higgs S, Monath TP, Lang J (2010) Preclinical and clinical development of YFV 17D-based chimeric vaccines against dengue, West Nile and Japanese encephalitis viruses. *Vaccine* 28:632–649. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2009.09.098>

Han S, Yang S, Cai Z, Pan D, Li Z, Huang Z, Zhang P, Zhu H, Lei L, Wang W (2015) Anti-Warburg effect of rosmarinic acid via miR-155 in gastric cancer cells. *Drug Des Devel Ther* 9:2695–2703 <https://doi.org/10.2147/DDDT.S82342>

Handler JS (1971). The History of Arrowroot and the Origin of Peasantries in the British West Indies. *J Caribb Hist* 2:46–93.

Harmayani E, Kumalasari ID, Marsono Y (2011) Effect of arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) diet on the selected bacterial population and chemical properties of caecal digesta of Sprague Dawley rats. *Int Res J Microbiol* 2:278–284

Isman MB (2006) Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu Rev Entomol* 51:45–66. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>

Isman MB, Grieneisen ML (2014) Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. *Trends Plant Sci* 19:140–145. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>

Isman MB (2015) A renaissance for botanical insecticides?: A renaissance for botanical insecticides? *Pest Manag Sci* 71:1587–1590. <https://doi.org/10.1002/ps.4088>

Isman MB (2020) Botanical Insecticides in the Twenty-First Century-Fulfilling Their Promise? *Annu Rev Entomol* 65:233–249. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010>

Khan S, Taning CNT, Bonneure E, Mangelinckx S, Smagghe G, Ahmad R, Fatima N, Asif M, Shah MM (2019) Bioactivity-guided isolation of rosmarinic acid as the principle bioactive compound from the butanol extract of *Isodon rugosus* against the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *PLoS ONE* 14:0224416. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215048>

Khoshraftar Z, Safekordi AA, Shamel A, Zaefizadeh M (2020) Evaluation of insecticidal activity of nanoformulation of *Melia azedarach* (leaf) extract as a safe environmental insecticide. *Int J Environ Sci Technol* 17:1159–1170. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02448-7>

Koul O, Dhaliwal GS (2005) *Phytochemical biopesticides*. Taylor & Francis, London

Kumalasari ID, Harmayani E, Lestari LA, Raharjo S, Asmara W, Nishi K, Sugahara T (2012) Evaluation of immunostimulatory effect of the arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) in vitro and in vivo. *Cytotechnology* 64:131–137. <https://doi.org/10.1007/s10616-011-9403-4>

Kundu A, Vadassery J (2019) Chlorogenic acid-mediated chemical defence of plants against insect herbivores. *Plant Biol J* 21:185–189. <https://doi.org/10.1111/plb.12947>

Laranja AT, Manzatto AJ, Campos Bicudo HEM de (2003) Effects of caffeine and used coffee grounds on biological features of *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae) and their possible use in alternative control. *Genet Mol Biol* 26:419–429. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572003000400004>

Liao Y, Zeng L, Rao S, Gu D, Liu X, Wang Y, Zhu H, Hou X, Yang Z (2020) Induced biosynthesis of chlorogenic acid in sweetpotato leaves confers the resistance against sweetpotato weevil attack. *J Adv Res* 24:513–522. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.06.011>

Liberio SA, Pereira ALA, Dutra RP, Reis AS, Araújo MJAM, Mattar NS, Silva LA, Ribeiro MNS, Nascimento FRF, Guerra RMN, Monteiro-Neto V (2011) Antimicrobial activity against oral pathogens and immunomodulatory effects and toxicity of geopropolis produced by the stingless bee *Melipona fasciculata* Smith. *BMC Complement Altern Med* 11:108. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-11-108>

Lucarini R, Bernardes WA, Ferreira DS, Tozatti MG, Furtado R, Bastos JK, Pauletti PM, Januário AH, Silva MLA, Cunha WR (2013) In vivo analgesic and anti-inflammatory activities of *Rosmarinus officinalis* aqueous extracts, rosmarinic acid and its acetyl ester derivative. *Pharm Biol* 51:1087–1090. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.776613>

Macel M, van Dam NM (2018) Metabolomics of plant resistance to insects. In: Emani C (ed) *The Biology of Plant-Insect Interactions*, 1st edn. CRC Press, Boca Raton, pp 129-149

Meda A, Lamien CE, Romito M, Millogo J, Nacoulma OG (2005) Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chem* 91:571–577. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006>

Morgan ED (2004) The place of neem among modern natural pesticides. In: Koul O, Wahab S (eds.) *Neem: Today and in the New Millennium*, Kluwer, pp 21–32.

Movva V, Pathipati UR (2017) Feeding-induced phenol production in *Capsicum annum* L. influences *Spodoptera litura* F. larval growth and physiology. *Arch Insect Biochem Physiol* 95:e21387. <https://doi.org/10.1002/arch.21387>

- Murúa G, Molina-Ochoa J, Coviella C (2006) Population dynamics of the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in northwestern Argentina. Fla Entomol 89:175-182. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2006\)89\[175:PDOTFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2006)89[175:PDOTFA]2.0.CO;2)
- Naqqash MN, Gökçe A, Bakhsh A, Salim M (2016) Insecticide resistance and its molecular basis in urban insect pests. Parasitol Res 115:1363–1373. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4898-9>
- Nishaa S, Vishnupriya M, Sasikumar JM, Hephzibah PC, Gopalakrishnan VK (2012) Antioxidant activity of ethanolic extract of *Maranta arundinacea* L. tuberous rhizomes. Asian J Pharm Clin Res, 5:85-88.
- Oberemok VV, Laikova KV, Gninenko YI, Zaitsev AS, Nyadar PM, Adeyemi TA (2015) A short history of insecticides. J Plant Prot Res 55:221–226. <https://doi.org/10.1515/jppr-2015-0033>
- Pan American Health Organization. Dengue. (2019) <http://www.paho.org/data/index.php/en/mnu-topics/indicadores-dengue-en/dengue-nacional-en/252-dengue-pais-ano-en.html>. Accessed 10 June 2021.
- Pandey A, Misra P, Chandrashekar K, Trivedi PK (2012) Development of AtMYB12-expressing transgenic tobacco callus culture for production of rutin with biopesticidal potential. Plant Cell Rep 31:1867–1876. <https://doi.org/10.1007/s00299-012-1300-6>
- Paumgarten FJR (2020) Pesticides and public health in Brazil. Curr Opin in Toxicol 22:7–11. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2020.01.003>
- Parra JRP (2001) Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico. ESALQ/FEALQ, Piracicaba.



Paula MB, Fernandes A, Medeiros-Sousa AR, Ceretti-Júnior W, Christe R, Stroebel RC, Pedrosa L, Almeida RMMS, Carvalho GC, Pereira UD, Jacintho MCO, Natal D, Marrelli M T (2015) Mosquito (Diptera: Culicidae) fauna in parks in greater São Paulo, Brazil. *Biota Neotrop* 15:. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2014-0026>

Pavela R, Benelli G (2016) Ethnobotanical knowledge on botanical repellents employed in the African region against mosquito vectors – A review. *Exp Parasitol* 167:103–108. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2016.05.010>

Pavela R, Maggi F, Lupidi G, Cianfaglione K, Dauvergne X, Bruno M, Benelli G (2017) Efficacy of sea fennel (*Crithmum maritimum* L., Apiaceae) essential oils against *Culex quinquefasciatus* Say and *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *Ind crop prod*, 109:603-610. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.013>

Pavlidis N, Vontas J, Van Leeuwen T (2018) The role of glutathione S-transferases (GSTs) in insecticide resistance in crop pests and disease vectors. *Curr Opin Insect Sci* 27:97–102. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.04.007>

Peruca RD, Coelho RG, Silva GG, Pistori H, Ravaglia LM, Roel AR, Alcantara GB (2018) Impacts of soybean-induced defenses on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) development. *Arthropod-plant Inte*, 12:257-266. <https://doi.org/10.1007/s11829-017-9565-x>

Pignati WA, Lima FANS, Lara SS, Correa MLM, Barbosa JR, Leão LHC, Pignatti MG (2017) Spatial distribution of pesticide use in Brazil: a strategy for Health Surveillance. *Ciênc Saúde Coletiva*, 22:3281–3293. <https://doi.org/10.1590/1413-812320172210.17742017>

Reddy PP (2015) Arrowroot, *Maranta arundinacea*. In: *Plant Protection in Tropical Root and Tuber Crops*. Springer India, New Delhi, pp 319–322

Rego CARM, Rocha AE, Oliveira CA, Pacheco, FPF (2016) Ethnobotanical survey in traditional communities of Pedra Suada settlement, Cachoeira Grande municipality. *Acta Agron* 65:284-291. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n3.50240>.

Rocha WS, Lopes RM, Silva DB, Vieira RF, Silva JPD, Agostini-Costa TDS (2011) Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. *Rev Bras Frutic* 33:1215–1221. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000400021>

Roel AR (2002). A agricultura orgânica ou ecológica e a sustentabilidade da agricultura. *Interações* 3:57-62. <https://dx.doi.org/10.20435/interacoes.v3i4.578>

Roque FO, Menezes JFS, Northfield T, Ochoa-Quintero JM, Campbell MJ, Laurance WF (2018) Warning signals of biodiversity collapse across gradients of tropical forest loss. *Scientific Reports* 8:1622. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19985-9>

Rufino MDSM, Alves RE, Brito ES, Morais SM, Sampaio CDG, Pérez-Jimenez J, Sauracalixto FD (2007) Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico, Fortaleza

Sabino ARA, Tavares SS, Riffel A, Li JV, Oliveira DJA, Feres CIMA, Henrique L, Oliveira JS, Correia GDS, Sabino AR, Nascimento TG, Hawkes G, Santana AEG, Holmes E, Bento ES (2019) 1H NMR metabolomic approach reveals chlorogenic acid as a response of sugarcane induced by exposure to *Diatraea saccharalis*. *Ind Crop Prod* 140:111651. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111651>

Sâmia RR, de Oliveira RL, Moscardini VF, Carvalho GA (2016) Effects of Aqueous Extracts of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae) on the Growth and Reproduction of *Spodoptera frugiperda*

(J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Neotrop Entomol 45:580–587.

<https://doi.org/10.1007/s13744-016-0398-6>

Santos AC, Mostardeiro CP (2008) Padronização de metodologia analítica para avaliação da colinesterase plasmática. Rev Contexto Saúde 8:23-30.

Schmeller T, El-Shazly A, Wink M (1997) Allelochemical Activities of Pyrrolizidine Alkaloids: Interactions with Neuroreceptors and Acetylcholine Related Enzymes. J Chem Ecol 23:399–416. <https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000006367.51215.88>

Selin-Rani S, Senthil-Nathan S, Thanigaivel A, Vasantha-Srinivasan P, Edwin ES, Ponsankar A, Lija-Escaline J, Klaivani K, Abdel Megeed A, Hunter WB, Alessandro RT (2016) Toxicity and physiological effect of quercetin on generalist herbivore, *Spodoptera litura* Fab. and a non-target earthworm *Eisenia fetida* Savigny. Chemosphere 165:257–267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.136>

Serpa LLN, Monteiro SDB, Voltolini JC (2008) Efeito da água de criação larval na oviposição de *Aedes aegypti* em laboratório. Rev Soc Bras Med Trop 41:515–517. <https://doi.org/10.1590/S0037-86822008000500017>

Shintu PV, Radhakrishnan VV, Mohanan KV (2015) Pharmacognostic standardisation of *Maranta arundinacea* L. - An important ethnomedicine. J Pharmacogn Phytochem 4:673 - 635.

Silva NLA, Miranda FAA, da Conceição GM (2010) Triagem fitoquímica de plantas de Cerrado, da área de proteção ambiental municipal do Inhamum, Caxias, Maranhão. Sci Plena, 6:025402

Simmonds MSJ, Stevenson PC, Hanson FE (2019) Rosmarinic acid in *Canna generalis* activates the medial deterrent chemosensory neurone and deters feeding in the tobacco hornworm *Manduca sexta*. *Physiol Entomol* 44:140–147. <https://doi.org/10.1111/phen.12284>

Singh B, Kaur T, Kaur S, Manhas R, Kaur A (2016) Insecticidal potential of an endophytic *Cladosporium velox* against *Spodoptera litura* mediated through inhibition of alpha glycosidases. *Pestic Biochem Phys* 131:46–52. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.01.004>

Sisay B, Tefera T, Wakgari M, Ayalew G, Mendesil E (2019) The efficacy of selected synthetic insecticides and botanicals against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in maize. *Insects* 10: 45. <https://doi.org/10.3390/insects10020045>

Souza NRQ (2018) Investigação de diversos biomarcadores em uma linhagem celular diferenciada em macrófagos para o desenvolvimento de um ensaio de potência alternativa para vacina atenuada contra dengue. Dissertation, Fundação Oswaldo Cruz, Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde

Storer NP, Thompson GD, Head GP (2012) Application of pyramided traits against Lepidoptera in insect resistance management for *Bt* crops. *GM Crops Food* 3:154–162. <https://doi.org/10.4161/gmcr.20945>

Su Q, Zhou Z, Zhang J, Shi C, Zhang G, Jin Z, Wang W, Li C (2018) Effect of plant secondary metabolites on common cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Entomol Res* 48:18–26. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12238>

Thompson HM, Walker CH (2020) Blood esterases as indicators of exposure to organophosphorus and carbamate insecticides. In: Fossi MC, Leonzio C (eds) *Nondestructive biomarkers in vertebrates*, 1st edn. CRC Press, Boca Raton, pp 37-62

Torres AL, Barros R, Oliveira JV de (2001) Efeito de extratos aquosos de plantas no desenvolvimento de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). Neotrop Entomol 30:151–156. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000100022>

Trócsányi E, György Z, Inotai K, Szabó K, Pluhár Z, Radácsi P, Malekzadeh M, Neméth-Zámboriné É (2015) Enhanced rosmarinic acid accumulation and rosmarinic acid synthase gene expression under drought stress in thyme (*Thymus vulgaris*). Planta Med 81:1492-1493. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1565623>

Vasconcelos PFC, Calisher CH (2016) Emergence of Human Arboviral Diseases in the Americas, 2000–2016. Vector Borne Zoonotic Dis 16:295–301. <https://doi.org/10.1089/vbz.2016.1952>

Wink M (2015) Modes of Action of Herbal Medicines and Plant Secondary Metabolites. Medicines 2:251–286. <https://doi.org/10.3390/medicines2030251>

Wyckhuys KAG, O’Neil RJ (2006) Population dynamics of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) and associated arthropod natural enemies in Honduran subsistence maize. Crop Prot 25:1180–1190. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.03.003>

Yerra VG, Reddamma S, Kumar A (2014) Rosmarinic acid resists neuroinflammatory manifestations associated with diabetic neuropathy in streptozotocin induced rats. Indian J Pharmacol 46:S90–S90

Zara ALDSA, Santos SMD, Fernandes-Oliveira ES, Carvalho RG, Coelho GE (2016) Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. Epidemiol Serv Saúde 25:391-404. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742016000200017>

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho confirmou a interferência dos extratos de araruta nos ciclos de vida de *Spodoptera frugiperda* e *Aedes aegypti*, elucidando o potencial inseticida a ser explorado nos extratos da espécie e em seus constituintes fitoquímicos. Esse tipo de pesquisa impulsiona outros estudos, sobre as aplicações e usos dos compostos bioativos presentes em culturas alimentares negligenciadas, que é o caso da araruta. Levando em consideração os usos etnobotânicos da espécie, a araruta, ainda possui inúmeras características metabólicas e possíveis aplicações a serem desvendadas.

Elaborar uma dissertação de mestrado em meio a uma pandemia foi um grande desafio, além disso, o envolvimento de trabalhos práticos na pesquisa, foi algo ainda mais complexo. Devido às limitações causadas pelo isolamento social e fechamento de instituições parceiras, houve inúmeros atrasos na obtenção de resultados, o que desencadeou algumas mudanças na ideia inicial do trabalho. Apesar da dissertação apresentar somente um artigo, há resultados e materiais a serem analisados, que podem gerar outras produções científicas.

## NORMAS DA REVISTA NEOTROPICAL ENTOMOLOGY

### Instructions for Authors

#### Pre-submission Checklist

Before submitting your manuscript to Neotropical Entomology, please double-check whether it is in accordance with the requirements below, otherwise the submission may be returned to authors for corrections.

Check the full instructions for other requirements such as formatting Tables, Figures, Citations and References.

#### Authors Names, Affiliations, and Addresses

Authors names should be written in full in the title page. Affiliations should include the name of the institution, city, state (when applicable) and country. Please do not include addresses (street, number, ZIP code etc) in the affiliations.

#### Scientific Names

Scientific names should be written in full, followed by the author's name (for insect and mite species) whenever they first appear in the Abstract and Main text (E.g., *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith)).

Names should also be listed in full at the beginning of a paragraph or sentence. E.g., *Spodoptera frugiperda*. Use the abbreviated generic name (e.g., *S. frugiperda*) in the rest of the paper, except in tables and figures, where the name should be in full.

#### Author Contribution and Conflict of Interest Statements

Both are mandatory for this journal, please see specific instructions below on this page.

#### Article Types

**ORIGINAL ARTICLES** should not exceed 30 doubled-spaced pages, including tables, figures, and references. The sections of the original articles should be:

- Abstract
- Introduction
- Material and methods
- Results
- Discussion
- References

**SCIENTIFIC NOTES** are devoted to report new pest species records, introduction of alien and invasive species, and innovative methodologies.

**LETTERS TO THE EDITOR** may be a substantial re-analysis of an article previously published in Neotropical Entomology or in another journal or a brief report of research findings adequate for the journal's scope and of particular interest to the community.

### **FORUM ARTICLES**

1) Submissions are almost exclusively by invitation. Nonetheless, authors with interesting topics/ideas can contact the editor with a proposition and request an appraisal.

2) Format: it can be letter to the editor or a review. Regardless, the authors must make sure that the paper possesses the elements described in item 3. Note: The Forum section does not publish standard reviews.

3) Objective: to publish articles that (i) are of interest to a broad entomological audience, (ii) provoke critical thinking, (iii) provide an element of novelty and/or report emerging research directions, (iv) identify potential current shortcomings and



challenges within the given research topic, and (v) provide an assessment of the future perspectives for the given research topic.

4) Length: forum articles should not exceed 7000 words, not including the tables, figures legends, and references. Regardless, authors should be judicious about the number of tables, figures, and references.

5) Forum articles will also go through the regular process of review, implying that only suitable articles should be accepted for publication.

## **SECTIONS**

Authors should inform in the front page of the manuscript the section they are submitting the manuscript to, as follows:

- Ecology, Behavior and Bionomics
  
- Systematics, Morphology and Physiology
  
- Biological Control
  
- Pest Management
  
- Medical and Veterinary Entomology

### **Manuscript Submission**

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

**Permissions**

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

**Online Submission**

Please follow the hyperlink “Submit manuscript” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Please ensure you provide all relevant editable source files. Failing to submit these source files might cause unnecessary delays in the review and production process.

**Title Page**

Please make sure your title page contains the following information.

**Title**

The title should be concise and informative.

**Author information**

The name(s) of the author(s)

The affiliation(s) of the author(s), i.e. institution, (department), city, (state), country

A clear indication and an active e-mail address of the corresponding author

If available, the 16-digit ORCID of the author(s)

If address information is provided with the affiliation(s) it will also be published.

For authors that are (temporarily) unaffiliated we will only capture their city and country of residence, not their e-mail address unless specifically requested.

**Abstract**

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

For life science journals only (when applicable)

Trial registration number and date of registration

Trial registration number, date of registration followed by “retrospectively registered”

**Keywords**

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

**Declarations**

All manuscripts must contain the following sections under the heading 'Declarations'.

If any of the sections are not relevant to your manuscript, please include the heading and write 'Not applicable' for that section.

To be used for all articles, including articles with biological applications

**Funding** (information that explains whether and by whom the research was supported)

**Conflicts of interest/Competing interests** (include appropriate disclosures)

**Availability of data and material** (data transparency)

**Code availability** (software application or custom code)

**Authors' contributions** (optional: please review the submission guidelines from the journal whether statements are mandatory)

Additional declarations for articles in life science journals that report the results of studies involving humans and/or animals

**Ethics approval** (include appropriate approvals or waivers)

**Consent to participate** (include appropriate statements)

**Consent for publication** (include appropriate statements)

Please see the relevant sections in the submission guidelines for further information as well as various examples of wording. Please revise/customize the sample statements according to your own needs.

## **Text**

### **Text Formatting**

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

LaTeX macro package (Download zip, 190 kB)

## **Headings**

Please use no more than three levels of displayed headings.

## **Abbreviations**

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

## **Footnotes**

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

## **Acknowledgments**

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

## **References**

### **Citation**

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

### **Reference list**

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Please alphabetize according to the following rules: 1) For one author, by name of author, then chronologically; 2) For two authors, by name of author, then name

of coauthor, then chronologically; 3) For more than two authors, by name of first author, then chronologically.

If available, please always include DOIs as full DOI links in your reference list (e.g. “<https://doi.org/abc>”).

- Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 341:325–329

- Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. <https://doi.org/10.1007/s001090000086>

- Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

- Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

- Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

- Dissertation

Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see

ISSN LTWA

If you are unsure, please use the full journal title.

### **Tables**

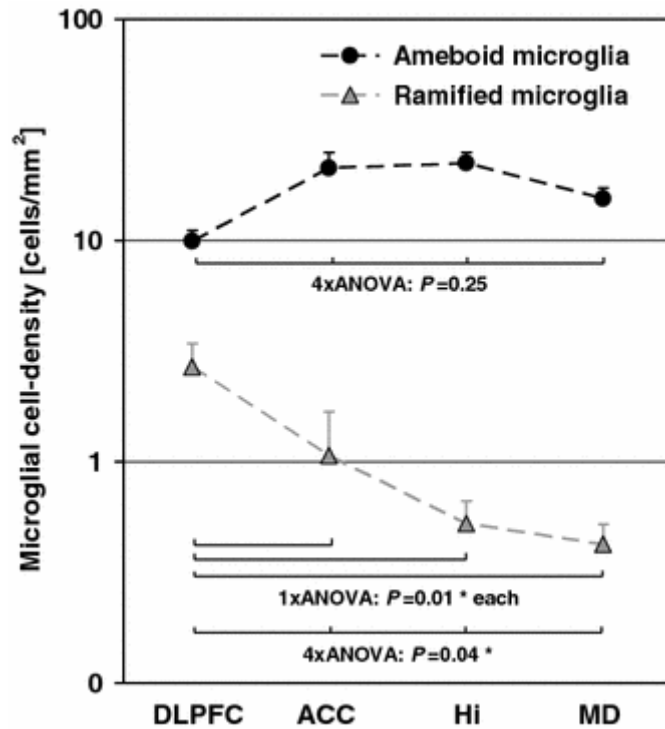
- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

### **Artwork and Illustrations Guidelines**

#### **Electronic Figure Submission**

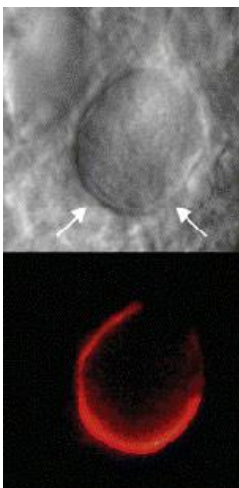
- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

## Line Art



- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

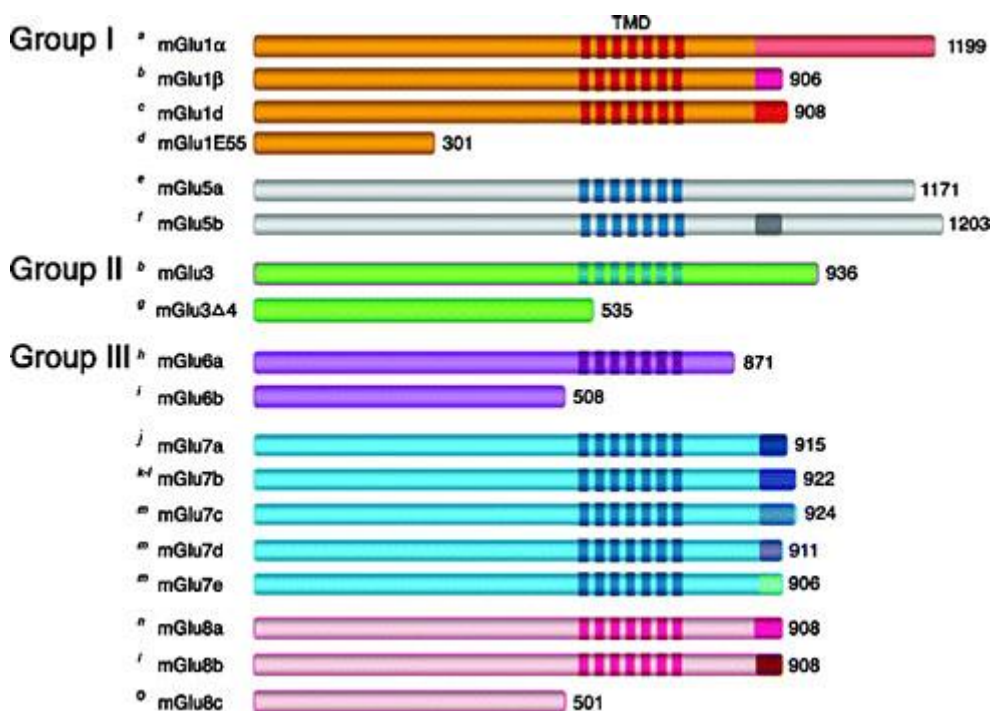
## Halftone Art





- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

### Combination Art



- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

### Color Art

- Color art is free of charge for online publication.
- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

### **Figure Lettering**

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

### **Figure Numbering**

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices [Supplementary Information (SI)] should, however, be numbered separately.

### **Figure Captions**

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

### **Figure Placement and Size**

- Figures should be submitted separately from the text, if possible.
- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.

- For large-sized journals the figures should be 84 mm (for double-column text areas), or 174 mm (for single-column text areas) wide and not higher than 234 mm.
- For small-sized journals, the figures should be 119 mm wide and not higher than 195 mm.

### **Permissions**

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

### **Accessibility**

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)
- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

### **Supplementary Information (SI)**

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as Supplementary Information, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

**Submission**

- Supply all supplementary material in standard file formats.
- Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
- To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

**Audio, Video, and Animations**

- Aspect ratio: 16:9 or 4:3
- Maximum file size: 25 GB
- Minimum video duration: 1 sec
- Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

**Text and Presentations**

- Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
- A collection of figures may also be combined in a PDF file.

**Spreadsheets**

- Spreadsheets should be submitted as .csv or .xlsx files (MS Excel).

**Specialized Formats**

- Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

**Collecting Multiple Files**

- It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

**Numbering**

- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

- Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., “... as shown in the animation (Online Resource 3)”, “... additional data are given in Online Resource 4”.
- Name the files consecutively, e.g. “ESM\_3.mpg”, “ESM\_4.pdf”.

### **Captions**

- For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

### **Processing of supplementary files**

- Supplementary Information (SI) will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

### **Accessibility**

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

- The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
- Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk).