



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG
Programa de Pós-graduação – Ciências Ambientais

Rua Gabriel Monteiro da Silva, 714. Alfenas - MG CEP 37130-000
Fone: (35) 3299-1379(Coordenação) / (35) 3299-1392 (Secretaria)



VALDIR VERONEZE JUNIOR

**VARIAÇÃO SAZONAL DAS CARACTERÍSTICAS ECOFISIOLÓGICAS E
FITOQUÍMICAS DE *Garcinia brasiliensis* Mart. (CLUSIACEAE)**

Alfenas-MG

2020

VALDIR VERONEZE JUNIOR

**VARIAÇÃO SAZONAL DAS CARACTERÍSTICAS ECOFISIOLÓGICAS E
FITOQUÍMICAS DE *Garcinia brasiliensis* Mart. (CLUSIACEAE)**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Corrêa de Souza

Coorientadora: Dra. Kamila Rezende Dázio de Souza

Alfenas-MG

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas

V549v Veroneze Junior, Valdir.
Variação sazonal das características ecofisiológicas e fitoquímicas de
Garcinia brasiliensis Mart. (clusiaceae). / Valdir Veroneze Junior. –
Alfenas/MG, 2020.
104f. il. –

Orientador: Thiago Corrêa de Souza.
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal
de Alfenas, 2020.
Bibliografia.

1. Estações do ano. 2. Essências e óleos essenciais – Uso Terapêutico.
3. Fotossíntese. 4. Bioquímica. I. Souza, Thiago Corrêa de. II. Título.

CDD-577

Ficha Catalográfica elaborada por Fátima dos Reis Goiatá
Bibliotecária-Documentalista CRB/6-425

VALDIR VERONEZE JUNIOR

Variação sazonal das características ecofisiológicas e fitoquímicas de *Garcinia brasiliensis* Mart. (CLUSIACEAE)

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 23 de julho de 2020 Dra.

Kamila Rezende Dázio de Souza

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Sara Dousseau Arantes

Instituição: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

Dr. Roniel Geraldo Avila

Instituição: Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde



Documento assinado eletronicamente por **Kamila Rezende Dázio de Souza, Usuário Externo**, em 23/07/2020, às 17:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sara Dousseau Arantes, Usuário Externo**, em 23/07/2020, às 17:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roniel Geraldo Avila, Usuário Externo**, em 27/07/2020, às 15:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0335228** e o código CRC **F02ADC78**.

À Nelide Martins da Silva (*in memoriam*), fonte de
amor inesgotável, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter dado saúde, perseverança e fé para chegar até aqui.

Aos meus pais, Valdir e Ziselda, e ao meu irmão Vinicius, por acreditarem no meu sonho e por todo apoio que me deram, por serem meus pais e maiores exemplos de vida.

À Solange de Campos Reis Rosa, pelo suporte financeiro importantíssimo, e por acreditar que meu sonho poderia se realizar, me dando um voto de confiança de seis anos e meio.

Ao meu grande amigo Welinton Diniz, agradeço por estar presente em todos os momentos desta longa caminhada. Sou grato por me incentivar, vibrar com as minhas conquistas e pela paciência diária investida nessa amizade.

À Roberto Sobral, meu padrinho, agradeço por desde criança me ajudar a focar na área que eu gosto, agradeço por ser um exemplo de ser humano, no qual eu me inspiro.

À Gabriela Ezequiel agradeço pela amizade e pelo suporte técnico e psicológico, bem como pelas risadas e brigadeiros compartilhados.

Sou grato a Davi Araújo pelos anos de convivência e parceria, pela preocupação, dicas de faxina aos sábados.

Agradeço a Leticia Bressanin e Gisele Esteves pela ajuda nos procedimentos em laboratório e em campo, por dividir os dramas e as glórias ao longo do mestrado.

Ao meu amigo Pedro Ernesto, por ajudar nas coletas de campo e pelas caronas a São Paulo nos feriados.

À Nathália Flausino por me ouvir, por rir das coisas boas da vida e por me mostrar que sou capaz de realizar os meus objetivos.

À Ana Lucia Barbosa por ser sempre tão solícita, pela alegria e profissionalismo contagiante.

À Viviane Borges pelo auxílio burocrático, pelas tardes de conversa e por me mostrar que tudo iria dar certo.

À José Nelson e Marta por serem tão cordiais e cederem o local para a coleta de dados, viabilizando esta pesquisa. Obrigado também pelos almoços sempre tão caprichados.

À Kamila Dázio, minha coorientadora, principalmente pela paciência e ajuda na realização deste. Agradeço também por me acalmar quando eu achava que não iria conseguir realizar determinada atividade.

Ao meu orientador, Thiago, pela confiança, e por ser peça fundamental no meu crescimento profissional e científico.

Agradeço aos amigos que fiz no Laboratório de Biotecnologia Ambiental & Genotoxicidade (BIOGEN), que não se importavam de serem interrompidos por minhas piadas ou brincadeiras e foram parte importante do meu crescimento.

À Universidade Federal de Alfenas e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) (Código de financiamento 001).

RESUMO

A espécie *Garcinia brasiliensis* Mart. (Clusiaceae), vem ganhando espaço na ciência por apresentar um rico potencial farmacológico, porém são escassos estudos que tratam da caracterização fisiológica e morfológica aliada a aspectos de produção de metabólitos secundários, rendimento e composição do óleo essencial da folha. Assim, objetivo desse trabalho foi identificar a influência sazonal nas características fisiológicas, anatômicas, bioquímicas e na produção de compostos fenólicos de interesse, bem como o rendimento e composição do óleo essencial em folhas de *Garcinia brasiliensis*. Plantas adultas com seis anos de idade foram analisadas em condições de campo, com quatro repetições, ao longo de quatro meses do ano (maio, agosto, novembro e fevereiro). As avaliações foram efetuadas no terço médio da copa, em folhas completamente expandidas, de cada um dos quatro pontos cardeais. Foram avaliadas as trocas gasosas, potencial hídrico foliar, fluorescência da clorofila “a”, teor relativo de clorofila, anatomia foliar, teor de carboidratos, proteínas, aminoácidos, compostos fenólicos, flavonoides e testes histoquímicos para a verificação da presença de amido e compostos fenólicos, rendimento e composição do óleo essencial nas folhas. Também se analisou a atividade da fenilalanina amônia liase (PAL) e da tirosina amônia liase (TAL), além da determinação de compostos isolados como 1,3,6,7-tetrahydroxyxanthone (Noratiriol), Moreloflavona (Fukugetina); Moreloflavona-7-O- β -D-Glycosyl (fukugeside) e 7-Epiclusianona. As trocas gasosas e o rendimento do óleo essencial foram maiores em novembro, mês com maior precipitação. Ocorreram alterações anatômicas que possibilitaram que a espécie enfrentasse as alterações no ambiente, decorrentes dos meses do ano como, por exemplo, precipitação, radiação e temperatura. O óleo essencial mostrou-se rico em sesquiterpenos, tendo Germacrenos A (7.6%), B (6.6%), D (24.7%) e Z – Cariofileno (9.7%) e E – Cariofileno (10.7%) como compostos majoritários e o maior rendimento ocorreu no mês de novembro. A maior produção de metabólitos primários ocorreu em novembro, enquanto o teor de compostos fenólicos e a atividade da PAL e TAL foram maiores em fevereiro. A maior quantidade de Moreloflavona foi encontrada na folha em novembro. Foram identificados por histoquímica, grãos de amido e idioblastos fenólicos por toda a extensão da folha. A maior produção de compostos primários e fotossíntese ocorre no mês de novembro, enquanto a maior produção de compostos fenólicos acontece em fevereiro, sendo estes localizados de forma dispersa na nervura central e limbo em idioblastos. O maior rendimento do óleo essencial de folhas de bacupari ocorre na primavera e está diretamente relacionado com as maiores trocas gasosas, assim como com o maior número e diâmetro de canais secretores presentes na nervura central das folhas.

Palavras-chave: Estações do ano. Essências e óleos essenciais – uso terapêutico.

Fotossíntese. Bioquímica.

ABSTRACT

The species *Garcinia brasiliensis* Mart. (Clusiaceae), has been gaining space in science due its pharmacological potential. However, there are few studies that deal with the physiological and morphological characterization combined with aspects of the production of secondary metabolites, production and composition of the essential oil of the leaf. Thus, the objective of this work was to identify seasonal influences on physiological, anatomical, biochemical characteristics and on the production of phenolic compounds, as well as the yield and composition of essential oil in leaves of *Garcinia brasiliensis*. Six-year-old plants were analyzed under field conditions, with four replications, over four months of the year (May, August, November and February). The measurements were performed in the middle of the canopy, in completely expanded leaves, in each of the four cardinal points. Gas exchanges, leaf water potential, chlorophyll "a" fluorescence, relative chlorophyll content, leaf anatomy were performed. Also, the contents of carbohydrate, proteins, amino acids, phenolic compounds and flavonoids were determined. The histochemical tests for the selection of the presence of starch and phenolic compounds were also evaluated, as well as the yield and composition of essential oil in the leaves. It also analyzed the activity of phenylalanine ammonia lyase (PAL) and tyrosine ammonia lyase (TAL), in addition to the determination of compounds such as 1,3,6,7-tetrahydroxyoxanthone (Noratiriol), moreloflavona (Fukugetina); Moreloflavone-7-O-p-D-glycosyl (fukugeside) and 7-Epiclusianone. Gas exchange and essential oil yielding were higher in November, the month with the greatest precipitation. There were anatomical changes that allowed the plant to copy with environmental changes throughout the months related to precipitation, radiation and temperature. The essential oil proved to be rich in sesquiterpenes, with germacrenes A (7.6%), B (6.6%), D (24.7%) and Z - Karyophylene (9.7%) and E - Karyophylene (10.7%) as main compounds. The highest production of primary metabolites occurred also in November, while the content of phenolic compounds and the activity of PAL and TAL were higher in February. The highest amount of Moreloflavona was found in the leaf in November. There were detected by histochemichal tests the starch grains and phenolic idioblasts along the entire length of the leaf. The highest production of primary compounds and photosynthesis occurs in the month of November, while the highest production of phenolic compounds occurs in February, which are those that occur in a dispersed manner in the central rib and in the limbus in idoblasts. The higher yield of essential oil from bacupari leaves occurs in the Spring and it is directly related to the greater gas exchange, as well as the greater number and diameter of secretory channels present in the central vein of the leaves.

Keywords: Seasons. Essential oils and essences – therapeutic use. Photosynthesis. Biochemistry.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EROs	Espécies Reativas de Oxigênio
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa Do Estado de Minas Gerais
MG	Minas Gerais
PAL	Fenilalanina Amônia-Liase
PSII	Fotossistema II
TAL	Tirosina Amônia-Liase
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 <i>Garcinia brasiliensis</i> : Aspectos botânicos, químicos e farmacológicos.....	14
2.2 Metabolismos primário e secundário.....	16
2.3 Óleos essenciais e voláteis.....	17
2.4 Compostos fenólicos.....	18
2.5 Influência do ambiente no metabolismo primário e secundário e na morfoanatomia vegetal.....	19
3 OBJETIVOS	21
3.1 Objetivos gerais	21
3.2 Objetivos específicos	21
REFERÊNCIAS.....	22
Artigo 1- Variação temporal do óleo essencial e das características ecofisiológicas e anatômicas de folhas de <i>Garcinia brasiliensis</i>	27
1 INTRODUÇÃO	28
2 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1 Condições experimentais: caracterização das plantas e ambiente.....	30
2.2 Avaliações ecofisiológicas	31
2.3 Extração e análise do óleo essencial de folhas	33
2.4 Avaliações anatômicas foliares	33
2.5 Delineamento experimental e análise dos dados	34
3 RESULTADOS	34
4 DISCUSSÃO	43
5 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

Artigo 2- Influência sazonal nas características fisiológicas, bioquímicas e na produção de compostos fenólicos em folhas de <i>Garcinia brasiliensis</i>.....	72
1 INTRODUÇÃO	73
2 MATERIAL E MÉTODOS	75
2.1 Material vegetal e desenho experimental	75
2.2 Caracterização das condições experimentais.....	76
2.3 Avaliações fisiológicas	76
2.4 Avaliações bioquímicas	77
2.5 Testes histoquímicos.....	79
2.6 Análise dos dados	79
3 RESULTADOS	80
4 DISCUSSÃO	87
5 CONCLUSÃO.....	92
REFERÊNCIAS.....	93

1 INTRODUÇÃO

As sociedades industrializadas vêm utilizando com mais frequência as plantas medicinais, devido ao fato de serem economicamente acessíveis, além de apresentarem elevado poder curativo. Atualmente, cerca de 25 a 30% de todas as drogas tidas como terapêuticas são derivados de produtos naturais ou são produtos naturais. A flora brasileira é vasta, com um valioso arsenal químico micromolecular, apresentando uma importância econômica inquestionável como perspectiva na produção de fragrâncias, fármacos, corantes e cosméticos, além de auxiliar como direcionador do desenvolvimento sustentável do país (CALIXTO, 2005; PINTO et al., 2002).

O metabolismo vegetal pode ser influenciado pela variação genética, condições ambientais, práticas de cultivo como irrigação, nutrição, tempo de colheita e método de extração dos compostos. Dessa maneira, as alterações no metabolismo são realizadas visando maximizar a eficiência de uso dos recursos. A fotossíntese faz parte do metabolismo primário, cujos produtos podem participar da síntese de múltiplas classes de compostos como aminoácidos, proteínas, carboidratos, nucleotídeos e clorofilas. (BAGHALIAN et al., 2008; POORTER; NAGEL, 2000; SALEHI SHANJANI et al., 2010)

Os compostos do metabolismo primário podem atuar como precursores das rotas síntese de metabólitos secundários como, por exemplo, na via do ácido mevalônico que comanda a biossíntese dos óleos essenciais. Com isso, existe a influência da sazonalidade na produção de compostos secundários, de modo que fatores microclimáticos como temperatura, pluviosidade e características geográficas colaboram para as variações nos óleos essenciais de plantas. Assim sendo, em determinadas épocas do ano ocorre uma potencialização do efeito biológico e da produção dos óleos essenciais, devido a variações ambientais e/ou temporais (LEE; DING, 2016).

Vários estudos têm mostrado as diferenças de teor e composição de óleo em plantas aromáticas devido à variação sazonal. No entanto, uma maior produção de óleo não indica aumento em todos os seus componentes, ou seja, quantidade e qualidade nem sempre são alteradas em um mesmo padrão. Por isso, diante do interesse farmacológico em componentes específicos do óleo essencial, é que se justifica o estudo da produção e caracterização deste ao longo das estações do ano, visando a identificação da época mais propícia para a coleta de determinados compostos.(FERRAZ et al., 2018; GOORÉ et al., 2017; HO et al., 2011; HUSSAIN et al., 2008)

Dentre as espécies brasileiras utilizadas na medicina popular está a *Garcinia brasiliensis*, que tem despertado o interesse da ciência devido suas características farmacológicas e por apresentar metabólitos de interesse farmacêutico. Estes compostos apresentam propriedades anti-inflamatória, anti-HIV, anti-obesidade, fotohemopreventivo, além de apontarem atividade antimutagênica e anticarcinogênica (CARVALHO-SILVA et al., 2012; FIGUEIREDO et al., 2014; GUSTAFSON et al., 1992; KUMAR; SHARMA; CHATTOPADHYAY, 2013; MARTINS et al., 2008; MOREIRA et al., 2017).

A maioria das substâncias isoladas e atividades farmacológicas foram identificadas em derivados de extratos dos frutos e das folhas de *G. brasiliensis*. O óleo essencial do pericarpo dos frutos também apresentou atividade anti-inflamatória. Nesse sentido, existe a possibilidade de estudar o óleo essencial das folhas desta espécie como fonte de substâncias de interesse farmacológico. Assim, surge a hipótese de que o óleo essencial das folhas de *G. brasiliensis* apresenta compostos de interesse farmacológico e que sua produção sofre influência da sazonalidade. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo identificar a influência da sazonalidade nas características fisiológicas, morfológicas e na produção de óleo essencial de folhas de *Garcinia brasiliensis*.

Os trabalhos envolvendo óleos essenciais na literatura se restringem a abordar apenas aspectos químicos relacionados à produção e composição destes. Em geral, não há correlação entre as condições ambientais, os aspectos fisiológicos e morfológicos e a produção do óleo essencial, de modo que os estudos ficam restritos a avaliar a influência da sazonalidade na quantidade dos componentes do óleo essencial.

Os extratos de frutos de *G. brasiliensis* apresentam diferentes compostos de interesse farmacológico e com uma gama de atividades biológicas. O óleo essencial dos frutos também apresenta compostos de interesse e com atividade anti-inflamatória. Diante da diversidade de compostos extraídos das folhas e de suas atividades biológicas, surge o interesse em aprofundar os estudos acerca do óleo essencial das folhas de *G. brasiliensis*. Dessa maneira, conhecer a influência da sazonalidade sobre a quantidade e a qualidade do óleo essencial das folhas, assim como sua composição pode contribuir para o fornecimento de compostos de interesse, além de direcionar a extração em épocas mais produtivas do ano. Também é importante conhecer a relação entre o metabolismo primário e a produção de óleo essencial ao longo das estações do ano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Garcinia brasiliensis*: Aspectos botânicos, químicos e farmacológicos

A família Clusiaceae, também conhecida como Guttiferae, é composta por plantas tropicais e abrange cerca de 30 gêneros e 1150 espécies. Esta família tem demonstrado mais de 100 substâncias isoladas de cerca de 20 espécies diferentes, com múltiplas aplicações biológicas. Apresenta vasta distribuição no território brasileira. Abrange árvores, arbustos, lianas e ervas. Possui importância econômica pela produção de frutos comestíveis, madeiras, derivados químicos de interesse da indústria farmacêutica, e até mesmo tintas (CHRISTENHUSZ; BYNG, 2016; FRUTUOSO et al., 2007; JUNIOR et al., 2005).

A espécie *Garcinia brasiliensis* Mart. pertence à família Clusiaceae. É nativa da região Amazônica, porém é amplamente cultivada em todo o território nacional, tendo os nomes populares: Bacupari, Bacuparil, Bacuri, Porocó e Bacuripari. Na literatura botânica, também pode ser encontrada como *Rhedia brasiliensis* (MONACHE et al., 1984).

O bacupari é uma árvore de porte médio, copa piramidal e que floresce nos meses de agosto a setembro. As folhas são em formato de lança e as flores abundantes e polígamas. O fruto é comestível, de cor amarela, apresenta polpa mucilaginosa e branca. Essa espécie também tem uso ornamental em praças e jardins, e sua madeira é usada para marcenaria, construção civil, carpintaria, dentre outras formas de utilização (CORRÊA, 1926; LORENZI, 2009).

As espécies da família Clusiaceae, apresentam inúmeras atividades biológicas, como antidepressiva, citotóxica, antioxidante, antiaflatoxinogênica, antiproliferativa e tripanosomicida. Estudos também demonstraram atividades leishmanicida *in vitro* e

anticolinesterásica (ABE et al., 2004; BOONSRI et al., 2006; JAGAN MOHAN RAO et al., 2004; JOSEPH et al., 2005; LENTA et al., 2007; MEDINA et al., 2006; NDJAKOU LENTA et al., 2007; WABO et al., 2010).

Investigações farmacológicas da espécie *G. brasiliensis* apontam uma diversa gama de compostos presentes em extratos, além de substâncias isoladas dos frutos. No extrato etanólico da casca de Bacupari constatou-se a presença dos compostos moreloflavona e 7-epiclusianona, que reduziram o fator de necrose tumoral α (TNF- α), os níveis de glicose sanguínea e apresentaram atividade anti-obesidade. O extrato etanólico oriundo do pericarpo, apresentou características antioxidantes e anti-inflamatórias, podendo ser utilizado como agente foto-hemopreventivo para redução de danos na pele, com potencial para ser utilizado como filtro solar em formulações tópicas, além de filtros UV (FIGUEIREDO et al., 2014; MOREIRA et al., 2017).

O extrato hexânico oriundo do pericarpo do fruto de *G. brasiliensis* demonstrou eficiência tanto para as formas amastigota quanto para promastigota de *Leishmania* (L.) *amazonenses* quando comparado a outros extratos. Estudos identificaram e isolaram benzofenonas polipreniladas naturais na espécie: gutiferona A (GUSTAFSON et al., 1992); 7-epiclusianona e rheediafenona (CARVALHO-SILVA et al., 2012; GUSTAFSON et al., 1992; MARTINS et al., 2008; PEREIRA et al., 2010).

A 7-epiclusianona apresentou atividades antioxidante e antimutagênica que podem coadjuvar para um efeito anticarcinogênico e citotóxico à atividade antitumoral. A gutiferona também apresenta propriedade medicinal, apresentando propriedade anti-HIV, inibindo os efeitos citopáticos do mesmo *in vitro*. Além dessas, o óleo essencial extraído do pericarpo dos frutos apresentou atividades antioxidante e anti-inflamatória, além de substâncias de interesse farmacológico, como a rheediafenona. Diante da quantidade elevada de atividades de substâncias dos frutos, pode ser que exista atividade

proveniente das substâncias das folhas, o que justifica a execução deste estudo (CARVALHO-SILVA et al., 2012; GUSTAFSON et al., 1992; MARTINS et al., 2008).

Estudos utilizando folhas de *G. brasiliensis* tanto em extratos hexânicos, quanto em extratos etanólicos apresentaram atividade anti-inflamatória, antioxidante e antinociceptiva. Nas folhas foi encontrado o lupeol, um composto anti-inflamatório em potencial, que impede a ação de mediadores pré-inflamatórios (CORRÊA et al., 2009; SANTA-CECÍLIA; FREITAS; et al., 2011; SANTA-CECÍLIA; VILELA; et al., 2011; SARONI ARWA et al., 2015).

2.2 Metabolismos primário e secundário

O metabolismo primário provê substâncias necessárias as funções vitais básicas da vida celular como respiração e biossíntese de aminoácidos e outras substâncias importantes para as células como nucleotídeos, açúcares, dentre outros. O metabolismo secundário não demonstra ação direta nos processos vitais da planta (fotossíntese, respiração, transporte de solutos, síntese de proteínas, entre outros). Os metabólitos secundários específicos são característicos de uma espécie ou determinado grupo no qual elas estão inseridas (FILHO, 2010; TAIZ *et al.*, 2017).

Considerando-se as principais classes de metabólitos secundários, tem-se os terpenos, os compostos fenólicos e os compostos nitrogenados. As rotas de síntese desses compostos são interconectadas ao metabolismo primário, tendo como precursores compostos intermediários nas rotas relacionadas ao metabolismo primário de carbono. Os terpenos são a maior classe de metabólitos secundários e são derivados do ácido mevalônico (no citoplasma) ou do piruvato 3-fosfoglicerato (no cloroplasto). Os compostos fenólicos apresentam uma vasta função nos vegetais e são feitos a partir do

ácido chiquímico ou ácido mevalônico. Os compostos nitrogenados contêm nitrogênio como constituinte do anel heterocíclico, e são importantes por apresentarem importantes implicações farmacológicas em vertebrados (TAIZ et al., 2017).

2.3 Óleos essenciais e voláteis

Óleos essenciais, também conhecidos como óleos voláteis ou essência, representam uma mistura complexa de substâncias com baixo peso molecular, lipofílicas e líquidas, que estão contidos nas plantas, como elementos naturais e apresentam compostos aromáticos oriundos do metabolismo secundário. Estes compostos são formados, normalmente, por hidrocarbonetos terpênicos, alcoóis, aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, éteres, óxidos, peróxidos, furanos, ácidos orgânicos, lactonas, cumarinas, e até mesmo compostos como o enxofre. Apresentam aroma geralmente agradável, na maioria das vezes cor amarelada ou incolor, demonstram solubilidade em solventes orgânicos apolares, contudo, em água apresentam solubilidade restrita. São instáveis à presença de luz, calor, ar, umidade e metais (DICKE; BALDWIN, 2010; REHMAN et al., 2016).

A composição dos óleos essenciais está em constante variação, transformando os compostos e mudando as suas proporções. Os óleos essenciais sofrem influência do momento do dia, do órgão da planta a qual está armazenado, dos fatores ambientais e genéticos, da forma da colheita e secagem, da época de coleta, bem como das características do solo, dentre outros. Em vista disso, se o intuito é se obter óleos essenciais com composição padronizada, estes devem ser extraídos sob as mesmas condições, do mesmo órgão da planta, sob o mesmo clima e na mesma estação do ano (BAKKALI et al., 2008; GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Os óleos essenciais podem ser obtidos através de diversas técnicas como, por exemplo, prensagem quando se trata de pericarpos de frutos cítricos, hidrodestilação e

destilação por arraste à vapor. Dependendo do tipo de extração, pode interferir no perfil químico, no tipo e número de moléculas e na estereoquímica (CHUA et al., 2019).

Os compostos orgânicos voláteis emitidos pelas plantas tem função importante na proteção contra o estresse biótico e abiótico. Em situação de estresse, a destinação de carbono para a produção de compostos orgânicos voláteis foliares aumenta, sendo estes liberados em quantidades maiores na atmosfera. Isto é comum quando a planta sofre ataque de herbívoros ou patógenos, sob estresse abiótico (seca, altas temperaturas, etc.) ou estresse oxidativo. Estes produtos do metabolismo secundário também podem atuar como atrativos para animais dispersores de sementes e polinizadores (DICKE; BALDWIN, 2010; LORETO et al., 2014; LORETO; SCHNITZLER, 2010; TAIZ et al., 2017).

Isto posto, os óleos essenciais podem conter uma grande diversidade de compostos de interesse para a indústria farmacêutica. Estudar a sazonalidade na produção de óleos essenciais é válido para que haja um direcionamento na coleta em determinada época do ano.

2.4 Compostos fenólicos

A espécie *Garcinia brasiliensis* pode oferecer inúmeras oportunidades para a indústria farmacêutica na produção de novos fármacos, pois, apresenta uma grandiosa composição química no seu extrato (DA SILVA et al., 2020).

A Moreloflavona (Fukugetina) é um composto fenólico, classificado como biflavonoide, que pode ser encontrado tanto em folhas como no epicarpo do gênero *Garcinia* sp. e tem propriedades tripanocida, leishmanicida, anti-inflamatória, antioxidante, antimicrobiana, esquistossomicida, além de atuar na inibição da

angiogênese tumoral (CASTRO et al., 2015; GONTIJO et al., 2012; NAVES et al., 2019; PANG et al., 2009; PEREIRA et al., 2010; SARONI ARWA et al., 2015).

A síntese das diferentes classes de metabólitos secundários ocorre a partir de intermediários das rotas do metabolismo primário, que está relacionado à síntese de aminoácidos, proteínas, carboidratos, nucleotídeos e clorofilas, que possuem funções básicas celulares. No caso dos compostos fenólicos, a eritrose-4-fosfato, fosfoenolpiruvato e acetil-CoA atuam como precursores para a formação de seus esqueletos. Os flavonoides também são compostos fenólicos e se relacionam com a defesa de plantas, sobretudo das mais jovens (DIAS et al., 2016; GHASEMZADEH et al., 2016; TAIZ et al., 2017; VALARES MASA et al., 2016; WANG et al., 2016).

2.5 Influência do ambiente no metabolismo primário e secundário e na morfoanatomia vegetal

O ambiente, no qual a planta se encontra, oferece inúmeros estímulos que podem redirecionar as rotas metabólicas, culminando na biossíntese de diferentes compostos. A interação planta/ microrganismos, planta/ insetos e planta/ planta; a idade e o estágio de desenvolvimento são exemplos de fatores que exercem influência no metabolismo vegetal. Fatores abióticos como luminosidade, temperatura, regime de chuvas, nutrição, época e horário de coleta, também são decisivos no metabolismo secundário, atuando de forma isolada ou conjunta (MORAIS, 2009).

No que diz respeito à luminosidade, a radiação solar é fonte primária de energia e está intrinsicamente ligada ao processo fotossintético da planta. A radiação luminosa, aliada à disponibilidade de CO₂, são fatores importantes relacionados ao crescimento, desenvolvimento e produção das plantas. A dependência da radiação afeta o comportamento morfoanatômico e fisiológico vegetal.(PEREIRA et al., 2011)

A quantidade de óleo essencial também é influenciada pela qualidade da radiação incidente. Plantas sob radiação completa apresentaram maior taxa de fotossíntese, porém não apresentaram maior taxa de crescimento, provavelmente pelo gasto energético para prevenir os danos em decorrência do excesso de radiação. Ainda assim, essas plantas apresentaram uma tendência de maior produção de óleo essencial do que as plantas com menor qualidade de radiação incidente (OLIVEIRA et al., 2016).

A temperatura também exerce influência sobre os processos fisiológicos das plantas. Baixas temperaturas exercem influência negativa sobre o metabolismo secundário. No verão se obtém uma maior quantidade de óleo essencial, uma vez que o maior comprimento dos dias proporciona melhores condições para o desenvolvimento da planta. Nos meses frios ocorre uma menor produção de óleo essencial explicada pelo fato do mecanismo fonte-dreno que degrada compostos do metabolismo secundário e transporta os compostos para a manutenção do metabolismo primário (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; SRIPATHI; JAYAGOPAL; RAVI, 2018; TAIZ et al., 2017).

O regime de chuvas pode comprometer o rendimento e composição dos óleos essenciais. A fotossíntese, o comportamento dos estômatos, a mobilização de reservas e o crescimento podem ser alterados pelo regime de chuvas, acarretando assim em alterações no metabolismo secundário (CERQUEIRA et al., 2009; GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Não há trabalhos com influência da sazonalidade em *Garcinia*; variação na produção de compostos fenólicos e de óleos essenciais em resposta às variações sazonais; importância de se conhecer a influência sazonal sobre a produção de metabólitos secundários nas plantas; Variações anatômicas em decorrência da sazonalidade; influência da sazonalidade na produção de metabólitos primários, e no metabolismo secundário.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

Caracterizar a influência das estações do ano nas variáveis fisiológicas, morfológicas e na produção de metabólitos secundários de *Garcinia brasiliensis*.

3.2 Objetivos específicos

Relacionar os aspectos fisiológicos como trocas gasosas, fluorescência da clorofila “a” e potencial hídrico com os aspectos bioquímicos como o teor de açúcares, proteínas e aminoácidos e a influência das estações do ano sobre a produção de metabólitos secundários.

Verificar a composição e o rendimento do óleo essencial obtido através da folha de *Garcinia brasiliensis* ao longo das estações do ano.

Identificar possíveis alterações morfológicas foliares ao longo das estações do ano e suas relações com a produção e armazenamento do óleo essencial de *Garcinia brasiliensis*.

REFERÊNCIAS

- ABE, Fumiko et al. Trypanocidal constituents in plants 3. leaves of *Garcinia intermedia* and Heartwood of *Calophyllum brasiliense*. **Biological & Pharmaceutical Bulletin**, Tokyo, v. 27, n. 1, p. 141–143, jan. 2004.
- BAGHALIAN, Kambiz et al. Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). **Scientia Horticulturae**, Oxford, v. 116, n. 4, p. 437–441, may. 2008.
- BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 446–475, feb. 2008.
- BOONSRI, S et al. Antibacterial and cytotoxic xanthenes from the roots of *Cratoxylum formosum*. **Phytochemistry**, Oxford, v. 67, n. 7, p. 723–727, apr. 2006.
- CALIXTO, João B. Twenty-five years of research on medicinal plants in Latin America. **Journal of Ethnopharmacology**, East Park Shannon, v. 100, n. 1–2, p. 131–134, aug. 2005.
- CARVALHO-SILVA, Luciano Bruno et al. Antioxidant, cytotoxic and antimutagenic activities of 7-epi-clusianone obtained from pericarp of *Garcinia brasiliensis*. **Food Research International**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 180–186, aug. 2012.
- CASTRO, Aline et al. Potent Schistosomicidal Constituents from *Garcinia brasiliensis*. **Planta Medica**, Stuttgart, v. 81, n. 09, p. 733–741, apr. 2015.
- CERQUEIRA, Martins Dias de et al. Variação sazonal da composição do óleo essencial de *Myrcia salzmannii* Berg. (Myrtaceae). **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1544–1548, Jul. 2009.
- CHRISTENHUSZ, MAARTEN J.M.; BYNG, JAMES W. The number of known plants species in the world and its annual increase. **Phytotaxa**, St. Lukes, v. 261, n. 3, p. 201, may 2016.
- CHUA, Lisa Y. W. et al. Influence of drying methods on the antibacterial, antioxidant and essential oil volatile composition of herbs: a review. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 12, n. 3, p. 450–476, mar. 2019.
- CORRÊA, Rodrigo S. et al. Lupeol. **Acta Crystallographica Section C Crystal Structure Communications**, Hoboken, v. 65, n. 3, p. o97–o99, mar. 2009.
- DA SILVA, Claudinei A. et al. Evaluating four modes of extraction to analyze bioactive compounds in *Garcinia brasiliensis* (Bacupari) by high-performance liquid chromatography diode-array detection (HPLC-DAD). **Natural Product Research**, Oxon, v. 23, n. 1, p. 1–5, jan. 2020.
- DIAS, Maria Inês et al. Exploring plant tissue culture to improve the production of phenolic compounds: A review. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 82, p. 9–22, apr. 2016.

DICKE, Marcel; BALDWIN, Ian T. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the 'cry for help'. **Trends in Plant Science**, London, v. 15, n. 3, p. 167–175, mar. 2010.

FERRAZ, Elza de Oliveira et al. Seasonality effects on chemical composition, antibacterial activity and essential oil yield of three species of *Nectandra*. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 13, n. 9, p. 1-13, sep. 2018.

FIGUEIREDO, Sônia Aparecida et al. In vitro and in vivo photoprotective/photochemopreventive potential of *Garcinia brasiliensis* epicarp extract. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, Lausanne, v. 131, n.1, p. 65–73, feb. 2014.

FRUTUOSO, Valber Da Silva et al. Analgesic and anti-inflammatory activity of the aqueous extract of *Rheedia longifolia* Planch & Triana. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 102, n. 1, p. 91–96, feb. 2007.

GHASEMZADEH, Ali et al. Variation in secondary metabolite production as well as antioxidant and antibacterial activities of *Zingiber zerumbet* (L.) at different stages of growth. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, London, v. 16, n. 1, p. 104, 22 dec. 2016.

GOBBO-NETO, Leonardo; LOPES, Norberto P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 374–381, Abr. 2007.

GONTIJO, Vanessa Silva et al. Isolation and evaluation of the antioxidant activity of phenolic constituents of the *Garcinia brasiliensis* epicarp. **Food Chemistry**, Oxon, v. 132, n. 3, p. 1230–1235, jun. 2012.

GOORÉ, Stéphane G. et al. Chemical composition of the leaf oil of *Artabotrys jollyanus* from Côte d'Ivoire. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 27, n. 4, p. 414–418, jul. 2017.

GUSTAFSON, Kirk R et al. The guttiferones, hiy-inhibitory benzophenones from *Symuhonia alobulifera*, *Garcinia livinastonei*, *Garcinia ovalifolia* and *Clusia rosea*. **Tetrahedron**, Oxford, v. 48, n. 46, p. 10093–10102, jun. 1992.

HO, Chen-Lung et al. Composition and Antifungal Activities of the Leaf Essential Oil of *Neolitsea parvigemma* from Taiwan. **Natural Product Communications**, Thousand Oaks, v. 6, n. 9, p. 1357–1360, sep. 2011.

HUSSAIN, Abdullah Ijaz et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. **Food Chemistry**, Oxon, v. 108, n. 3, p. 986–995, jun. 2008.

- JAGAN MOHAN RAO, Lingamallu et al. Occurrence of antioxidant and radical scavenging proanthocyanidins from the Indian minor spice nagkesar (*Mammea longifolia* planch and triana syn). **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, Oxford, v. 12, n. 1, p. 31–36, jan. 2004.
- JOSEPH, G.S. et al. Antiaflatoxic and antioxidant activities of Garcinia extracts. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 101, n. 2, p. 153–160, may 2005.
- JUNIOR, Arquimedes G. et al. Estudo morfo-anatômico das folhas e caule da *Calophyllum brasiliense* (Clusiaceae), uma contribuição ao estudo farmacognóstico da droga vegetal. **Acta Farmaceutica Bonaerense**, Buenos Aires, v. 24, n. 3, p. 371–376, Jul. 2005.
- KUMAR, Satyanshu; SHARMA, Shelly; CHATTOPADHYAY, Sunil Kumar. The potential health benefit of polyisoprenylated benzophenones from Garcinia and related genera: Ethnobotanical and therapeutic importance. **Fitoterapia**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 86–125, sep. 2013.
- LEE, Yee Ling; DING, Phebe. Physiological production of essential oil in plants - Ontogeny, secretory structures and seasonal variations. **Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews**, Seri Kembangan, v. 2, n. 1, p. 1–10, apr. 2016.
- LENTA, Bruno et al. Leishmanicidal and cholinesterase inhibiting activities of phenolic compounds from *Allanblackia monticola* and *Symphonia globulifera*. **Molecules**, East Park Shannon, v. 12, n. 8, p. 1548–1557, 20 jul. 2007.
- LORETO, Francesco et al. Plant volatiles and the environment. **Plant, Cell & Environment**, Hoboken, v. 37, n. 8, p. 1905–1908, aug. 2014.
- LORETO, Francesco; SCHNITZLER, Jörg-Peter. Abiotic stresses and induced BVOCs. **Trends in Plant Science**, London, v. 15, n. 3, p. 154–166, mar. 2010.
- MARTINS, Felipe T. et al. Composition, and anti-inflammatory and antioxidant activities of the volatile oil from the fruit peel of *Garcinia brasiliensis*. **Chemistry and Biodiversity**, Weinheim, v. 5, n. 2, p. 251–258, feb. 2008.
- MEDINA, Miguel A. et al. Hyperforin: More than an antidepressant bioactive compound? **Life Sciences**, Oxford, v. 79, n. 2, p. 105–111, jun. 2006.
- MONACHE, G D et al. Chemical investigation of the genus *Rheedia*, IV. Three new xanthenes from *Rheedia brasiliensis*. **Journal of Natural Products**, Oxford, v. 47, n. 4, p. 620–625, aug. 1984.
- MORAIS, L A S. Influência Dos Fatores Ambientais Na Composição Química Dos Óleos Essenciais. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 4050–4063, Ago. 2009.

MOREIRA, M E C et al. Bacupari peel extracts (*Garcinia brasiliensis*) reduce high-fat diet-induced obesity in rats. **Journal of Functional Foods**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 143–153, feb. 2017.

NAVES, V. M.L. et al. Antimicrobial and antioxidant activity of *Garcinia brasiliensis* extracts. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 244–250, aug. 2019.

NDJAKOU LENTA, B. et al. In vitro antiprotozoal activities and cytotoxicity of some selected Cameroonian medicinal plants. **Journal of Ethnopharmacology**, East Park Shannon, v. 111, n. 1, p. 8–12, apr. 2007.

OLIVEIRA, G. C. et al. Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. **Chilean journal of agricultural research**, Chillan, v. 76, n. 1, p. 123–128, mar. 2016.

PANG, Xiufeng et al. Morelloflavone, a biflavonoid, inhibits tumor angiogenesis by targeting rho GTPases and extracellular signal-regulated kinase signaling pathways. **Cancer Research**, Philadelphia, v. 69, n. 2, p. 518–525, 15 jan. 2009.

PEREIRA, I.O. et al. Leishmanicidal activity of benzophenones and extracts from *Garcinia brasiliensis* Mart. fruits. **Phytomedicine**, Munich, v. 17, n. 5, p. 339–345, apr. 2010.

PEREIRA, S P et al. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 152–160, Fev. 2011.

PINTO, Angelo C. et al. Produtos naturais: atualidade, desafios e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. SUPPL. 1, p. 45–61, Maio 2002.

POORTER, Hendrik; NAGEL, Oscar. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 27, n. 6, p. 595-607, jan. 2000.

REHMAN, Rafia et al. Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: A review. **Food Reviews International**, Philadelphia, v. 32, n. 2, p. 117–160, feb. 2016.

SALEHI SHANJANI, Parvin et al. Effects drying and harvest season on the essential oil composition from foliage and berries of *Juniperus excelsa*. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 32, n. 2, p. 83–87, sep. 2010.

SANTA-CECÍLIA, Flávia V.; VILELA, Fabiana C.; et al. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of *Garcinia brasiliensis*. **Journal of Ethnopharmacology**, East Park Shannon, v. 133, n. 2, p. 467–473, jan. 2011.

SANTA-CECÍLIA, Flávia V.; FREITAS, Lissara A.S.; et al. Antinociceptive and anti-inflammatory properties of 7-epiclusianone, a prenylated benzophenone from *Garcinia brasiliensis*. **European Journal of Pharmacology**, East Park Shannon, v. 670, n. 1, p. 280–285, nov. 2011.

SARONI ARWA, Phaniel et al. Redox-active biflavonoids from *Garcinia brasiliensis* as inhibitors of neutrophil oxidative burst and human erythrocyte membrane damage. **Journal of Ethnopharmacology**, East Park Shannon, v. 174, p. 410–418, nov. 2015.

SRIPATHI, Raju; JAYAGOPAL, Dharani; RAVI, Subban. A study on the seasonal variation of the essential oil composition from *Plectranthus hadiensis* and its antibacterial activity. **Natural Product Research**, Oxon, v. 32, n. 7, p. 871–874, apr. 2018.

TAIZ, Lincon et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal Diversidade vegetal**. Porto Alegre: Artmed editora, 2017. 6 ed.

VALARES MASA, Cristina et al. Quantitative variation of flavonoids and diterpenes in leaves and stems of *Cistus ladanifer* L. at different ages. **Molecules**, Basel, v. 21, n. 3, p. 275, feb. 2016.

WABO, Hippolyte K. et al. Xanthones and a benzophenone from the roots of *Pentadesma butyracea* and their antiproliferative activity. **Phytochemistry Letters**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 104–107, jun. 2010.

WANG, Lei et al. System level analysis of cacao seed ripening reveals a sequential interplay of primary and secondary metabolism leading to polyphenol accumulation and preparation of stress resistance. **The Plant Journal**, Hoboken, v. 87, n. 3, p. 318–332, aug. 2016.

Artigo 1- Variação temporal do óleo essencial e das características ecofisiológicas e anatômicas de folhas de *Garcinia brasiliensis*

RESUMO: O ambiente no qual a planta está inserida oferece inúmeros estímulos que podem redirecionar as rotas metabólicas e influenciar no metabolismo vegetal. A espécie *Garcinia brasiliensis* Mart. (Clusiaceae) tem atraído o interesse da ciência devido à produção de compostos de interesse farmacêutico e com propriedades farmacológicas, porém são escassos estudos que relacionem a ecofisiologia da planta no decorrer dos meses do ano e a produção de óleo essencial. Assim, objetivou-se com este trabalho identificar a influência dos meses do ano nas características ecofisiológicas e morfoanatômicas, assim como no rendimento e na composição do óleo essencial de folhas de *Garcinia brasiliensis*. Foram realizadas avaliações em plantas adultas com seis anos de idade, com quatro repetições, ao longo de quatro meses do ano (maio, setembro, novembro e fevereiro). As avaliações foram efetuadas no terço médio da copa, em folhas completamente expandidas, nos quatro pontos cardeais da copa, e depois foi realizada a média. Foram avaliadas trocas gasosas, fluorescência da clorofila “a”, teor relativo de clorofila, potencial hídrico foliar, anatomia foliar, rendimento e composição do óleo essencial de folhas de *G. brasiliensis*. As trocas gasosas e o rendimento do óleo essencial foram maiores em novembro, mês com maior precipitação. Ocorreram alterações anatômicas que possibilitaram que a espécie enfrentasse as alterações no ambiente, decorrentes dos meses do ano como, por exemplo, precipitação, radiação e temperatura. O óleo essencial mostrou-se rico em sesquiterpenos, tendo Germacrenos A (7.6%), B (6.6%), D (24.7%) e Z – Cariofileno (9.7%) e E – Cariofileno (10.7%) como compostos majoritários e o maior rendimento ocorre no mês de novembro. O maior rendimento do óleo essencial de folhas de bacupari ocorre na primavera e está diretamente relacionado com as maiores trocas gasosas, assim como com o maior número e diâmetro de canais secretores presentes na nervura central das folhas.

Palavras-chave: Bacupari, trocas gasosas, fluorescência da clorofila, Cariofileno, anatomia foliar, Germacreno

1 INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais são compostos secundários pertencentes à classe dos terpenos, cuja biossíntese está relacionada à via do ácido mevalônico. Os esqueletos desses metabólitos secundários são fornecidos por intermediários de rotas do metabolismo primário, como os intermediários da Respiração e Fotossíntese (LEE; DING, 2016). Essa conexão entre metabolismos primário e secundário pode alterar a síntese de compostos secundários em decorrência das variações sazonais, de modo que fatores como temperatura, pluviosidade e características geográficas colaboram para essas variações nas plantas (LEE; DING, 2016). Assim, fatores ambientais e fatores endógenos (genéticos da planta) podem estar ligados diretamente com a composição química, a atividade farmacológica e a potencial toxicidade dos óleos essenciais de determinada espécie (GASPARETTO *et al.*, 2017).

As alterações na produção de óleos essenciais em diferentes espécies vegetais são resultado de alterações morfoanatômicas e fisiológicas (WAHID *et al.*, 2007). Essas alterações auxiliam as plantas a lidarem com as variações ambientais, protegendo seus sistemas contra perturbações (ROYCHOUDHURY; TRIPATHI, 2019). Variações na temperatura parecem influenciar na estrutura e função das folhas de inverno em comparação com o verão. As folhas de inverno de *Teucrium polium* são menores e mais grossas em comparação com as folhas de verão, que têm mais estômatos e apresentam uma maior fotossíntese e quantidade de óleo essencial (LIANOPOULOU *et al.*, 2014). A composição e o rendimento do óleo essencial de *Plectranthus amboinicus* estão relacionados com a disponibilidade hídrica e época de colheita (SABRA *et al.*, 2018). Em *Nectandra megapotamica*, o maior rendimento do óleo essencial ocorre na primavera e verão, épocas de florescimento, frutificação, crescimento das folhas jovens e senescência de folhas maduras. Por outro lado, no outono, quando há oxidação das folhas maduras, o rendimento do óleo é menor. Essa variação sugere a influência da sazonalidade e da fenologia sobre a produção de óleos essenciais devido a aspectos morfológicos e metabólicos (AMARAL *et al.*, 2015).

A família Clusiaceae, também conhecida como Guttiferae, é composta por plantas tropicais e abrange cerca de 10 gêneros e 750 espécies (CHRISTENHUSZ; BYNG, 2016b). Dentre os gêneros desta família está o *Garcinia* sp. (antigamente conhecido como *Rhedia* sp), cuja espécie *Garcinia brasiliensis* é cultivada em toda a América do Sul (PICCINELLI *et al.*, 2005). No Brasil, *G. brasiliensis* é uma das espécies brasileiras

utilizadas na medicina popular (KUMAR; SHARMA; CHATTOPADHYAY, 2013), que tem despertado o interesse da ciência devido à produção de compostos de interesse farmacêutico e com propriedades farmacológicas (MARTINS *et al.*, 2008; ZAN *et al.*, 2018).

O gênero *Garcinia* sp. tem se mostrado com alto potencial farmacológico ao redor do mundo. O óleo essencial de folhas de *Garcinia celebica* apresentou atividade antimicrobiana e um efeito antiproliferativo significativo contra células de câncer de mama humano MCF-7 (TAN *et al.*, 2019). Um estudo com seis espécies de *Garcinia* da Índia revelou que o óleo essencial oriundo das folhas é rico em sesquiterpenos biologicamente ativos (MENON *et al.*, 2019). O óleo essencial de sementes de *Garcinia xanthochymus* evidenciou capacidade antioxidante além de atividade antimicrobiana contra bactérias gram-positivas (MANOHAR *et al.*, 2014). O óleo essencial de folhas de *Garcinia kola* apresentou atividade antimicrobiana (OKHALE *et al.*, 2016).

No caso de *G. brasiliensis*, extratos obtidos de suas folhas já apresentaram atividade anti-inflamatória (SANTA-CECÍLIA, *et al.*, 2011; SARONI ARWA *et al.*, 2015), antioxidante (NAVES *et al.*, 2019; SARONI ARWA *et al.*, 2015), antimicrobiana (NAVES *et al.*, 2019) e antinociceptivo (SANTA-CECÍLIA, *et al.*, 2011). Por outro lado, a produção e as propriedades do óleo essencial de folhas ainda são pouco exploradas nesta espécie. O óleo essencial do pericarpo dos frutos de *Garcinia brasiliensis* apresentou atividade anti-inflamatória (MARTINS *et al.*, 2008).

A maioria das substâncias isoladas e atividades farmacológicas foram identificadas em derivados de extratos dos frutos e das folhas de *G. brasiliensis*. Nesse sentido, existe a possibilidade de estudar, de forma inédita ao longo das estações, o óleo essencial das folhas desta espécie como fonte de substâncias de interesse farmacológico. Assim, surge a hipótese de que as características fisiológicas de *G. brasiliensis* sofrem influência das condições edafoclimáticas inerentes aos meses do ano distribuídos nas diferentes estações do ano e, conseqüentemente, afetarão a quantidade e a qualidade do óleo essencial produzidos pelas folhas. Neste sentido, o presente trabalho objetivou identificar a influência dos meses do ano nas características ecofisiológicas, morfoanatômicas e no rendimento e composição do óleo essencial de folhas de *Garcinia brasiliensis*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Condições experimentais: caracterização das plantas e ambiente

O experimento foi conduzido em uma população de plantas de *Garcinia brasiliensis* Mart. (Clusiaceae), na zona rural da cidade de Alfenas (21°20'03.0"S 45°58'19.5"W) com plantas de aproximadamente seis anos de idade. O clima da região é caracterizado como Cwa segundo Köppen e Geiger.

A espécie foi identificada através de comparação taxonômica com o material presente no herbário UALF do Instituto de Ciência da Natureza (ICN) da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) registrado sob número 2566.

Durante o período experimental não foram realizadas adubações ou práticas de irrigação para que fossem amostradas as plantas em seu ambiente natural de cultivo. Durante o período experimental foram registradas a qualidade da radiação incidente por meio de um Espectro-radiômetro (Luzchem, SPR-4002, Ottawa, Canada). A quantidade de radiação incidente ao meio-dia, em cada mês de coleta, foi medida por meio de um medidor de energia solar digital portátil (Instrutherm, MES-100, São Paulo, Brazil). Paralelamente, foram obtidas as variáveis climatológicas de uma estação mais próxima ao local do experimento.

Com a finalidade de se caracterizar a composição mineral das folhas de *Garcinia brasiliensis* foi realizada uma amostragem composta nos meses de maio, agosto, novembro e fevereiro. A análise mineral (macro e micronutrientes) foi realizada através de Espectroscopia de absorção atômica com plasma acoplado (ICP-OES) e os resultados são demonstrados na tabela S2. As caracterizações química e física do solo estão apresentadas nas tabelas S1 e S3, respectivamente. O solo é tipicamente argiloso. A composição química do solo foi muito semelhante nos meses de fevereiro a agosto, sendo que, em novembro, devido a uma redução na capacidade de troca catiônica e na soma de bases do solo, observou-se uma queda nas concentrações de K, Ca e Mg em relação aos demais meses de análise. Com relação à análise nutricional das plantas, comparando-se o teor de nutrientes entre os meses analisados, em agosto observou-se os menores teores de Zn e Cu; em novembro houve decréscimos de K, Ca, B e Fe. Os demais nutrientes não apresentaram elevadas variações nos teores ao longo dos meses analisados.

Com relação às variáveis climáticas, em uma visão geral no decorrer dos meses de análise, o mês de maio apresentou a menor $T^{\circ}\text{C}$ min e a menor precipitação (Figura 1 A), além de elevada radiação incidente (Figura 1B). No mês de agosto observou-se a menor radiação incidente (Figura 1 B). Em novembro ocorreu a maior precipitação pluviométrica (Figura 1A). Houve manutenção na $T^{\circ}\text{C}$ média entre os meses de maio e novembro. Em fevereiro, observou-se maior $T^{\circ}\text{C}$ média (Figura 1A) e maior radiação incidente (Figura 1B). No que diz respeito ao espectro da radiação incidente, observou-se um pico na observou-se picos de incidência entre 480 e 600 nm (Figura 1C).

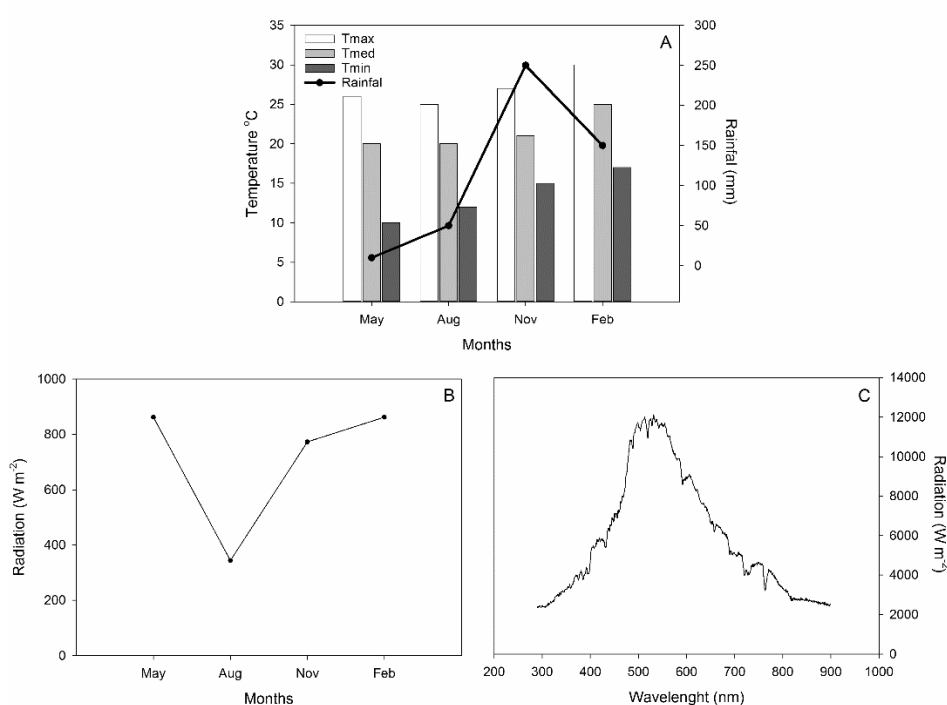


Figura 1: Temperatura mínima, média e máxima, precipitação (A), radiação incidente (B) e média da qualidade de radiação incidente (C) no local do experimento nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb) em plantas de *Garcinia brasiliensis*.

Fonte: Do autor (2020)

2.2 Avaliações ecofisiológicas

As avaliações ecofisiológicas foram realizadas em folhas completamente expandidas do terço médio da copa, nos quatro pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste). Os ramos cujas folhas foram utilizadas para as análises ecofisiológicas foram marcados para que essas folhas fossem novamente amostradas ao longo de todo o do período

experimental. As análises do potencial hídrico foliar foram destrutivas e realizadas em folhas diferentes ao longo do experimento.

2.2.1 Trocas gasosas foliares

Foram avaliadas a taxa fotossintética líquida (A_N), a taxa de transpiração foliar (E), condutância estomática (g_s) e concentração interna de CO_2 (C_i) utilizando-se um analisador de gases por infravermelho (IRGA – *Infrared Gas Analyzer*), (Model LI-6400 XT, Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA). Também foram calculadas a eficiência do uso de água ($WUE = A_N/E$) e a eficiência instantânea de carboxilação ($k = A_N/C_i$). As medições foram realizadas entre 09:00 e 11:00h, sob radiação fotossinteticamente ativa artificial de $1200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em n\u00edvel da folha. A radia\u00e7\u00e3o utilizada foi determinada ap\u00f3s a realiza\u00e7\u00e3o de uma curva de luz que teve como objetivo encontrar o ponto de satura\u00e7\u00e3o luminoso para a esp\u00e9cie estudada. A temperatura da c\u00e2mara foi controlada em 29°C .

2.2.2 Fluoresc\u00eancia da clorofila “a”

A fluoresc\u00eancia da clorofila foi medida por um fluor\u00edmetro modulado MINI-PAM II (Model Mini-PAM II, Heinz Walz, Effeltrich, Germany). Ap\u00f3s uma adapta\u00e7\u00e3o de 30 minutos no escuro e temperatura controlada (29°C) foi medida a fluoresc\u00eancia m\u00ednima (F_0) com uma luz suficientemente baixa, evitando rea\u00e7\u00f5es fotoqu\u00edmicas. A fluoresc\u00eancia m\u00e1xima (F_m) foi determinada pela aplica\u00e7\u00e3o de um pulso de luz saturante de $7000 \mu\text{mol de f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por 0,8 segundos. Nas amostras adaptadas no escuro, o rendimento qu\u00e2ntico m\u00e1ximo do fotossistema (PSII) foi estimado pela raz\u00e3o F_v/F_m , a efici\u00eancia m\u00e1xima do processo fotoqu\u00edmico no PSII foi estimada pela raz\u00e3o F_v/F_0 e a produ\u00e7\u00e3o qu\u00e2ntica basal dos processos n\u00e3o fotoqu\u00edmicos no PSII foi calculada pela raz\u00e3o F_0/F_m .

2.2.3 Teor relativo de clorofila e potencial h\u00eddrico foliar

A determina\u00e7\u00e3o do teor relativo de clorofila foi realizada com base nas leituras do clorofil\u00f4metro (Model SPAD 502, Minolta, Japan). Foi realizada uma m\u00e9dia de dez leituras de cada uma das folhas de cada orienta\u00e7\u00e3o. A quantidade de clorofila foi expressa em unidades de SPAD.

O potencial h\u00eddrico foliar foi determinado com uma bomba de press\u00e3o tipo Scholander (Soil Moisture Equipment Corp., Model SEC-3015G2, Santa Barbara CA, USA) ao meio dia (Ψ_{md}) com amostragem de duas folhas completamente expandidas das orienta\u00e7\u00f5es Norte e Sul de cada uma das plantas.

2.3 Extração e análise do óleo essencial de folhas

Para a extração do óleo essencial foram coletadas folhas completamente expandidas dos quatro pontos da copa, no terço médio, perfazendo uma amostra composta de aproximadamente 300g de folhas. A coleta foi realizada no início da manhã e, em seguida, o material foi levado para o laboratório para o processo de extração para manter a maioria dos seus constituintes.

O método de extração do óleo essencial foi por hidrodestilação em um aparelho tipo Clevenger modificado (ADAMS *et al.*, 2004). As folhas frescas foram pesadas, trituradas e, na sequência, colocadas em balão de extração. Foi adicionado um volume correspondente de água destilada aos fragmentos foliares de *Garcinia brasiliensis*. A hidrodestilação teve duração de cerca de três horas e o óleo retirado foi armazenado a -20 °C antes de uma análise mais aprofundada. A massa seca foi calculada após a secagem do material vegetal oriundo da extração do óleo essencial em estufa de circulação forçada a 65 °C até obter peso constante. O rendimento do óleo essencial foi obtido através da fórmula: $[(\text{massa do óleo essencial} \times 100) / \text{massa seca das folhas}]$.

O óleo essencial foi analisado em cromatógrafo a gás (GC-2010 Gas Chromatograph, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) juntamente com um Espectrômetro de massa (MS-QP-5050A, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). Mais detalhes das especificações metodológicas do CG podem ser observados no Material Suplementar A1. A quantificação foi obtida a partir da porcentagem relativa da área total do pico de cada constituinte em toda a amostra. Os constituintes do óleo essencial foram identificados por diversos métodos incluindo o banco de dados interno do equipamento, a biblioteca de espectro de massa NIST e comparado com os índices de retenção de Kovats (Adams, 2009).

2.4 Avaliações anatômicas foliares

Nos meses de maio, agosto, novembro e fevereiro foram realizadas coletas das folhas para a realização das análises anatômicas. Foram coletadas duas folhas com formação completa de cada orientação (leste e oeste) por serem as orientações que o sol nasce e se põe, respectivamente e por apresentarem resultados mais representativos. As coletas foram no terço médio de cada planta.

Após coletadas, as amostras foram fixadas em álcool 70%. Os cortes transversais foram realizados a mão livre com lâmina de barbear. Em seguida, foram realizadas cinco

lavagens: a primeira com HCL 50% por cinco minutos para clarear os cortes, a segunda com água acidificada 1% por cinco minutos para remover o excesso de HCl e três lavagens seguidas em água destilada por cinco minutos cada uma para reidratar o material. Após as lavagens, para a coloração foi utilizado o corante Astrablau (Safranina 10% e Azul de Astra 90%). Foram confeccionados 32 cortes para cada mês avaliado, totalizando 128 cortes. Para cada corte, foi realizada uma média de três medidas para cada valor encontrado.

Os cortes foram fotografados pelo fotomicroscópio Axio Scope A1 e as medições dos cortes foram realizadas no software AxioVision SE64 Rel. 4.8.

Foram medidas a espessura da cutícula adaxial (CT), espessura dos parênquimas paliçádico (PPT) e esponjoso (SPT), espessura do mesofilo (MT). Na nervura central foram medidos o número de canais secretores (SCN) e o diâmetro dos canais secretores mais calibrosos (SCD). O valor de cada medição foi obtido através da média do valor de três medições em cada corte.

2.5 Delineamento experimental e análise dos dados

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em que foram utilizadas quatro plantas de *Garcinia brasiliensis*, com amostragem em quatro posições da copa e ao longo de quatro tempos. Foram calculados as médias e o erro padrão da média de 16 repetições para cada mês de avaliação. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$). As relações entre os parâmetros morfofisiológicos e os meses do ano foram obtidas por meio de análise de componentes principais (PCA) (JOLLIFE; CADIMA, 2016), em que os coeficientes para cada componente foram estabelecidos por meio de matriz de correlação.

3 RESULTADOS

Para os parâmetros de trocas gasosas, a taxa fotossintética (A_N) (Figura 2A), a transpiração (E) (Figura 2B) e a condutância estomática (gs) (Figura 2D), tiveram uma maior atividade no mês de novembro. A concentração intercelular de CO_2 (C_i) (Figura 2C), foi maior nos meses de agosto e novembro que tiveram valores estatisticamente iguais. A eficiência instantânea de carboxilação (k) (Figura 2E) foi maior nos meses de maio e novembro. Os meses de maio, agosto e fevereiro foram os mais eficientes no uso da água (WUE) (Figura 2F).

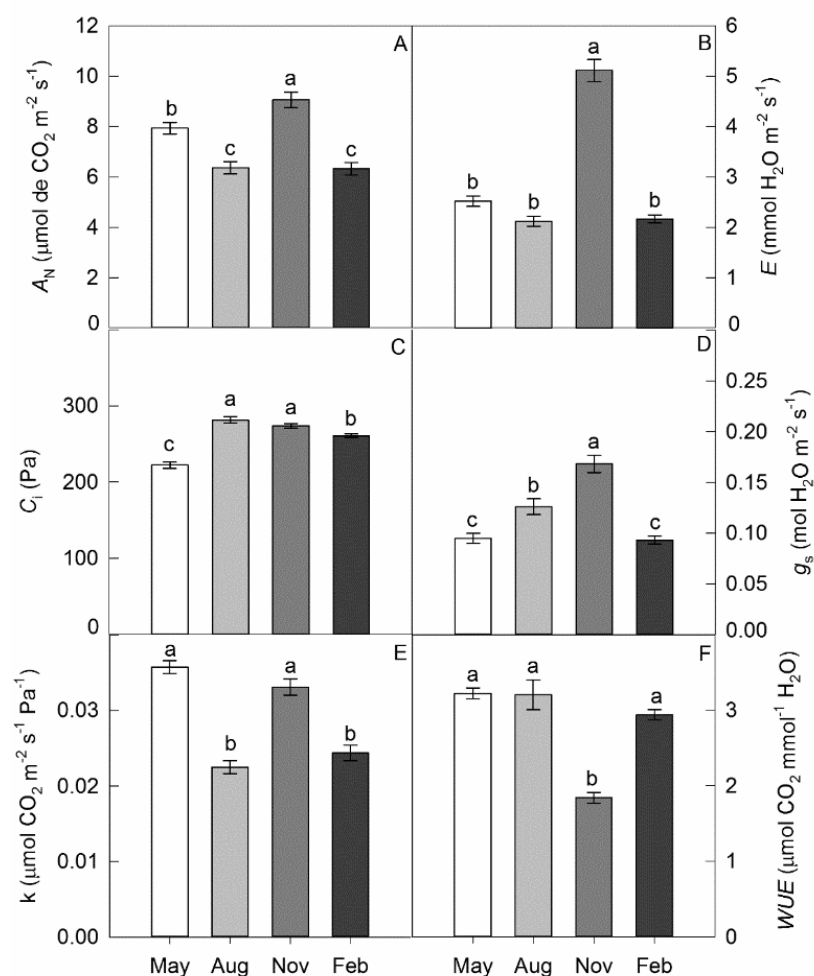


Figura 2 – Taxa fotossintética líquida - A_N (A), transpiração - E (B), concentração intercelular de CO_2 - C_i (C), condutância estomática - g_s (D) – eficiência instantânea de carboxilação - k (E) e eficiência no uso da água - WUE (F) em plantas de *Garcinia brasiliensis* ao longo do ano, nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$). As barras correspondem ao erro padrão da média ($n=16$).
Fonte: Do autor (2020)

Com relação aos parâmetros de fluorescência da clorofila “a”, a Fluorescência máxima (F_m) (Figura 3 A), fluorescência inicial F_0 (Figura 3 C), eficiência máxima do processo fotoquímico no PSII - F_v/F_0 (Figura 3 D) apresentaram maiores valores no mês de fevereiro. A produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII - F_0/F_m (Figura 3 E), apresentou maior média em maio. Para o rendimento quântico máximo do PSII - F_v/F_m (Figura 3 B), o mês de fevereiro, foi o que apresentou maior média neste parâmetro.

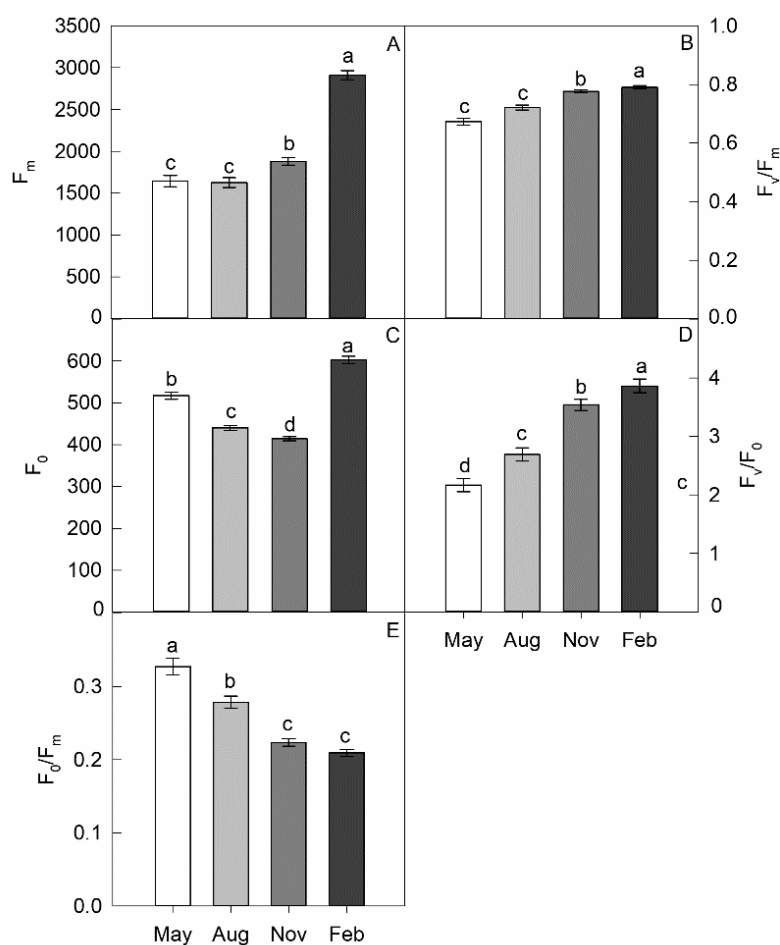


Figura 3 – Fluorescência máxima - F_m (A), rendimento quântico máximo do PSII - F_v/F_m (B), fluorescência inicial - F_0 (C), Eficiência máxima do processo fotoquímico no PSII - F_v/F_0 (D), Produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII - F_0/F_m (E), em plantas de *Garcinia brasiliensis* ao longo do ano, nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$). As barras correspondem ao erro padrão da média ($n=16$).

Fonte: Do autor (2020)

O teor relativo de clorofila (Figura 4 A) e o potencial hídrico foliar (Figura 4 B) foram menores no mês de novembro. Nos demais tratamentos foram maiores e não se diferiram.

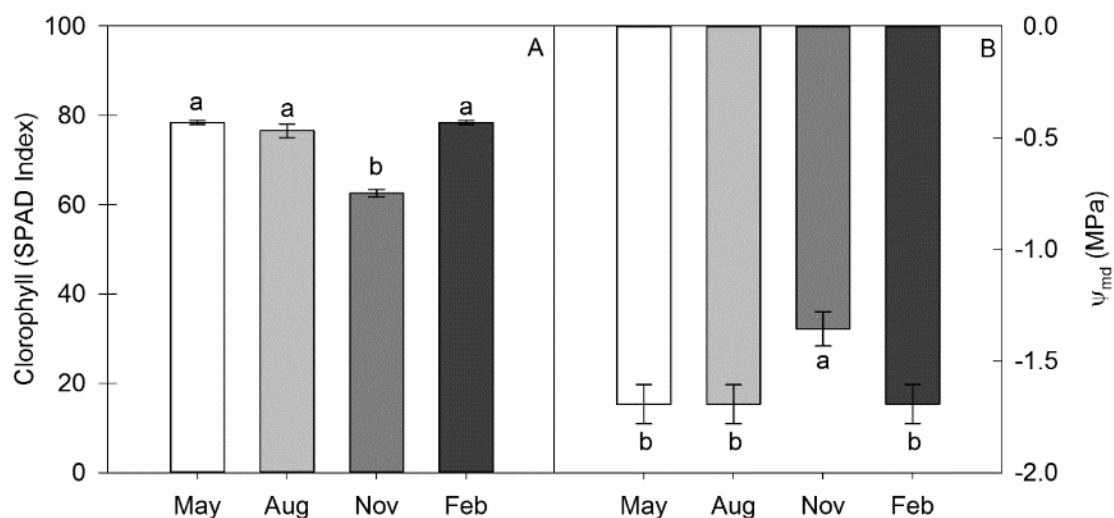


Figura 4 – Teor relativo de clorofila (A) e potencial hídrico foliar $-\Psi_{md}$ (B) em plantas de *Garcinia brasiliensis* ao longo do ano, nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$). As barras correspondem ao erro padrão da média ($n=16$).

Fonte: Do autor (2020)

A representação da estrutura química dos compostos principais do óleo essencial das folhas de *G. brasiliensis* está expressa na figura 5.

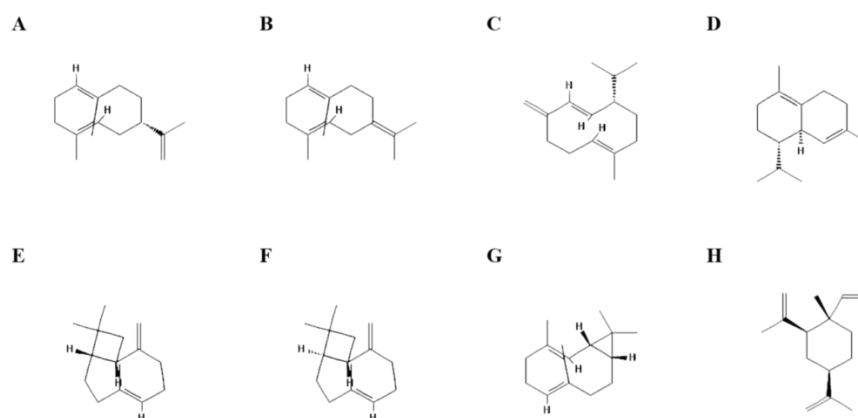


Figura 5 – Estrutura química dos compostos majoritários (acima de 4 %) no óleo essencial de folhas de *G. brasiliensis*. **A** - A Germacreno, **B** - B Germacreno, **C** - C Germacreno, **D** - δ - Cadineno, **E** - E - Cariophilleno, **F** - Z - Cariophilleno, **G** - Biciclogermacreno e **H** - β - Elemeno.

Fonte: Pubchem (2020)

Foram encontrados 49 compostos no óleo essencial (Tabela Suplementar 4). Desses compostos, os que tiveram uma porcentagem maior que 2% foram selecionados (14 compostos), sendo que a maioria são sesquiterpenos (Tabela 4). O composto que está presente em maior quantidade no óleo essencial foi o D – Germacreno (25%) em fevereiro e o E – Cariophilleno com 10.7% em novembro e fevereiro.

Biciclogermacreno só esteve presente no óleo essencial no mês de maio, na porcentagem de 6.2% (Tabela 1). O D – Germacreno foi aumentando com o passar dos meses a partir de maio até atingir a maior porcentagem em fevereiro 25 %. O A Germacreno teve seu menor valor em maio (5.7%) e em novembro e fevereiro apresentou 7.6%. O δ – Cadineno teve sua menor porcentagem em novembro (4.8%) se comparado aos demais meses. O E – Cariophilleno variou ao longo dos meses e em agosto foi o mês que teve a menor porcentagem 8.7%.

Tabela 1 – Compostos majoritários (acima de 2%) no óleo essencial de folhas de *G. brasiliensis* nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb).

RT	KI	Compost	Months			
			May	Aug	Nov	Feb
			----- % -----			
29.2	1509	A - Germacreno	5.7 ± 0.2	6.3 ± 1.0	7.6 ± 0.5	7.6 ± 0.7
31.2	1561	B - Germacreno	6.0 ± 0.3	6.5 ± 0.3	6.6 ± 0.3	7.0 ± 0.4
28.0	1481	D - Germacreno	21.2 ± 1.5	22.7 ± 1.9	24.7 ± 0.8	25.5 ± 1.1
30.0	1560	Biciclogermacreno	6.3 ± 0.2	-	-	-
28.4	1490	β - Selineno	4.8 ± 0.2	4.6 ± 0.3	4.0 ± 0.3	4.1 ± 0.1
27.9	1479	γ - Muuroleno	4.6 ± 0.2	4.6 ± 0.4	3.5 ± 0.4	3.5 ± 2.6
34.9	1654	α - Cadinol	2.4 ± 0.3	2.2 ± 0.3	2.0 ± 0.5	1.7 ± 0.2
26.5	1454	α - Humuleno	2.8 ± 0.1	2.8 ± 0.0	2.6 ± 0.1	2.7 ± 0.1
23.5	1376	α - Copaeno	2.9 ± 0.1	2.6 ± 0.1	2.7 ± 0.3	2.0 ± 0.7
24.2	1390	β - Elemenno	5.2 ± 0.2	5.7 ± 0.3	4.8 ± 0.2	4.7 ± 0.2
25.0	1408	Z - Cariophilleno	10.1 ± 0.2	10.3 ± 0.2	9.7 ± 0.4	10.0 ± 0.3
25.4	1419	E - Cariophilleno	9.3 ± 0.1	8.7 ± 0.3	10.7 ± 0.2	10.7 ± 0.8
29.72	1522	δ - Cadineno	6.1 ± 0.3	5.8 ± 0.3	4.8 ± 0.3	5.1 ± 0.1
29.35	1513	γ - Cadineno	2.9 ± 0.2	2.8 ± 0.3	2.0 ± 0.3	2.0 ± 0.2

RT: Retention time; KI: Kovats Index; Médias \pm erro padrão da média (n = 4)

Fonte: Do autor (2020)

O maior rendimento do óleo essencial de folhas de *G. brasiliensis* ocorreu em novembro (Figura 6), maio apresentou o segundo maior rendimento do óleo e os meses

de agosto e fevereiro apresentaram resultados muito semelhantes e menores que os demais.

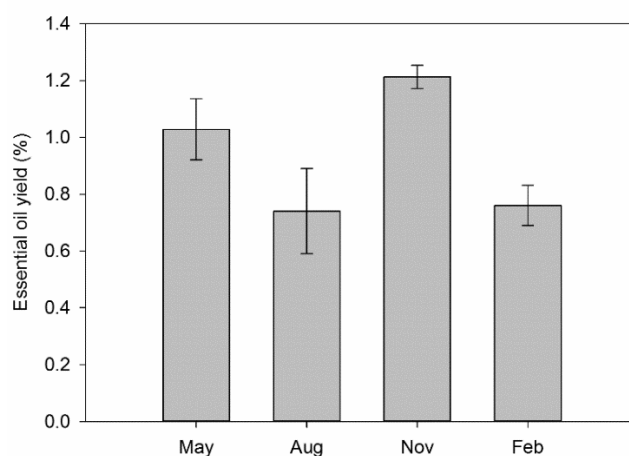


Figura 6 – Rendimento do óleo essencial de folhas de *G. brasiliensis* nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb). As barras correspondem ao erro padrão da média (n=4).

Fonte: Do autor (2020)

A espessura da cutícula adaxial não apresentou diferença estatística nos meses analisados, enquanto a cutícula abaxial foi menos espessa em novembro do que nos demais meses analisados (Figura 7A). O parênquima paliçádico apresentou maior espessura em agosto e fevereiro. O parênquima esponjoso teve uma espessura maior em maio e agosto, seguido de novembro e fevereiro. A espessura do mesofilo não variou no decorrer dos meses analisados. A relação parênquima esponjoso: parênquima paliçádico não variou de maio a novembro, sendo menor somente no mês de fevereiro (Figura 7 A). Com relação aos canais secretores de maior calibre encontrados na nervura central das folhas, menor diâmetro foi encontrado em agosto, não ocorrendo diferenças entre os demais meses de análises. Além disso, novembro e fevereiro foram os meses que tiveram o maior número total de canais secretores na nervura central (Figura 7 B).

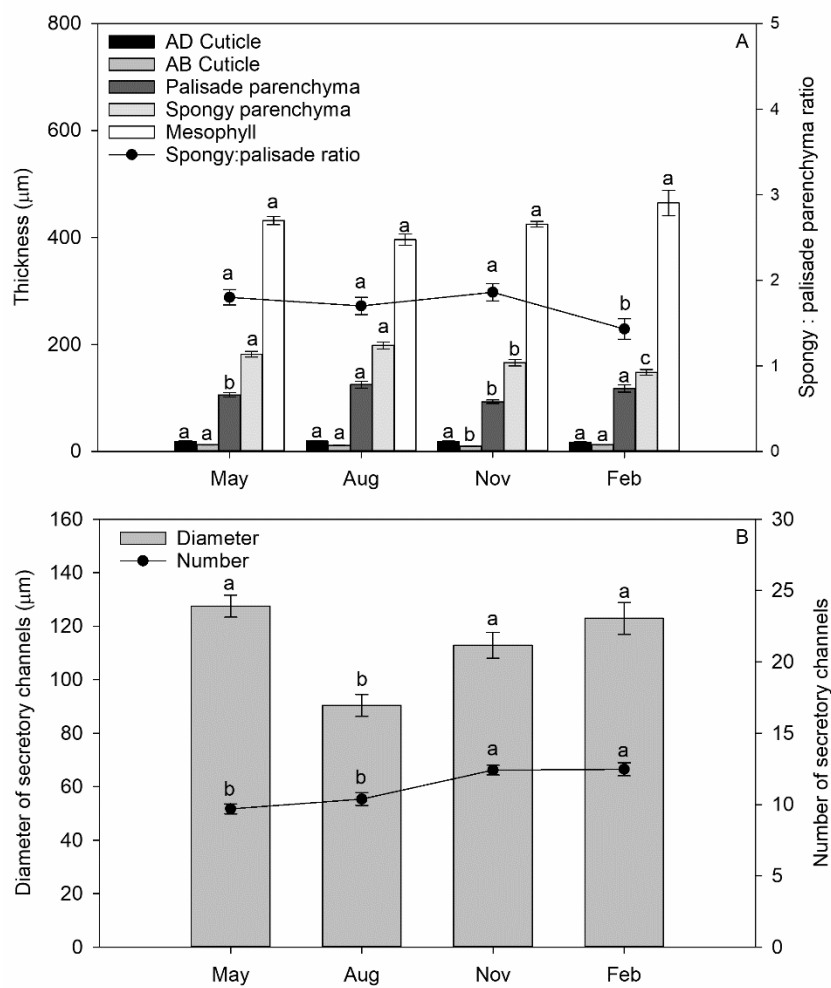


Figura 7 – Espessura da cutícula adaxial (AD Cuticle), cutícula abaxial (AB Cuticle), dos parênquimas paliçádico (Palisade parenchyma) e esponjoso (Spongy parenchyma) e do mesofilo (Mesophyll) – (A); e diâmetro dos canais secretores mais calibrosos (SCD) e o número total de canais secretores (SCN) na nervura central – (B) de folhas de *Garcinia brasiliensis* ao longo do ano, nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb). Médias seguidas pela mesma letra entre os meses não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$). As barras correspondem ao erro padrão da média ($n=16$).

Fonte: Do autor (2020)

As imagens dos cortes da nervura central de folhas de *G. brasiliensis* apresentam setas vermelhas que destacam o canal secretor de maior calibre em cada um dos meses de análises (Figura 8).

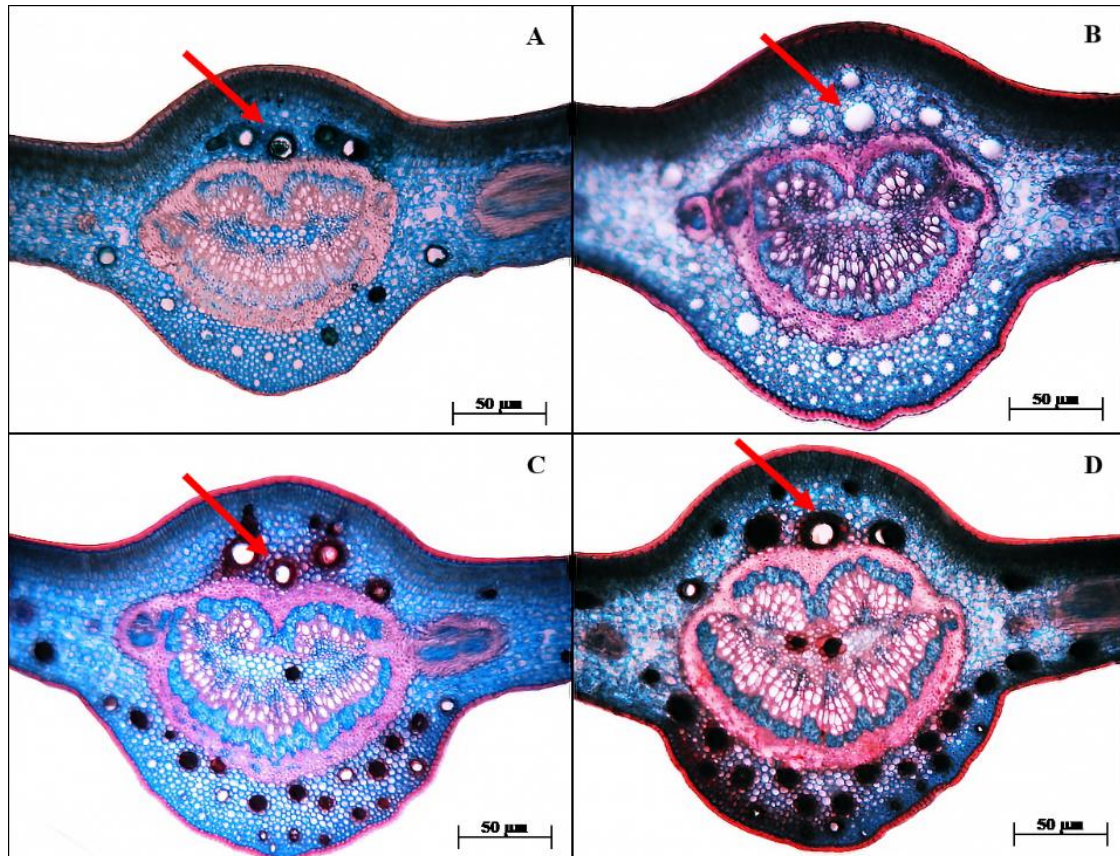


Figura 8 – Corte transversal na nervura de folhas de *G. brasiliensis* nos meses de maio (A), agosto (B), novembro (C) e fevereiro (D). As setas destacam o canal secretor de maior calibre.

Fonte: Do autor (2020)

Para as análises do mesofilo, foram elaborados cortes anatômicos à mão livre. As setas vermelhas mostram a cutícula adaxial (CT), as setas brancas o parênquima paliçádico (PP), e as setas pretas o parênquima esponjoso (SP) (Figura 9).

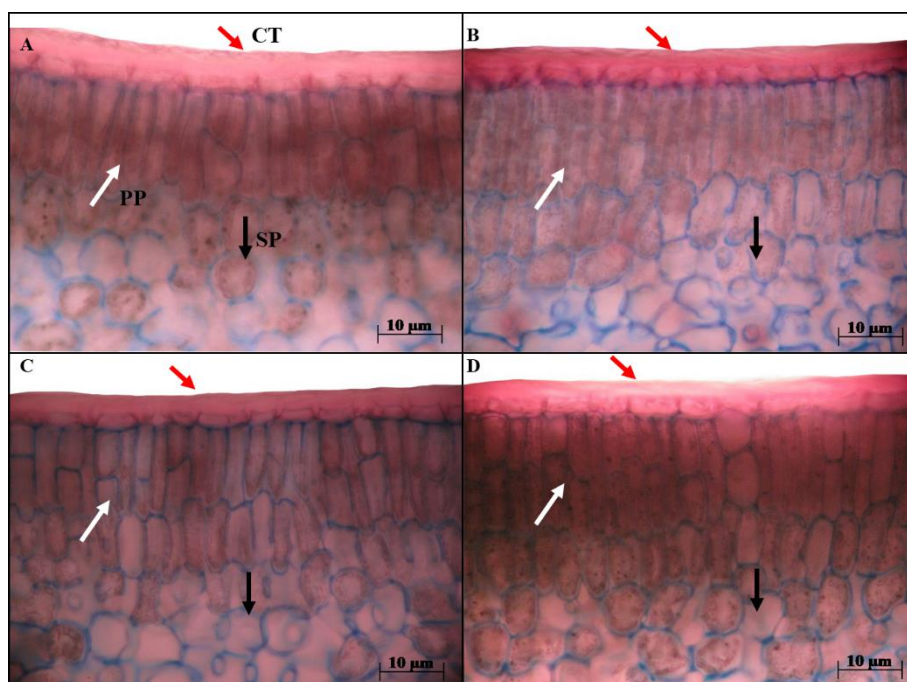


Figura 9 – Corte transversal do mesofilo de folhas de *G. brasiliensis* nos meses de maio (A), agosto (B), novembro (C) e fevereiro (D). As setas destacam a cutícula adaxial (CT) e os parênquimas paliçádico (PP) e esponjoso (SP).

Fonte: Do autor (2020)

A análise de componentes principais demonstrou que as duas principais componentes explicaram juntas 51.35 % da variação dos dados analisados (Figura 10). A separação dos meses de maio, novembro e fevereiro é bem clara pelas PC1 e PC2, enquanto agosto não teve uma distinção tão evidente.

Em maio, a produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (F_0/F_m) e o Índice SPAD foram os mais relacionados. Em agosto, a espessura da cutícula (CUT) e a do parênquima paliçádico (PPT) e esponjoso (SPT) foram os parâmetros que mais apresentaram influência para a componente 1. Em novembro, alguns parâmetros das trocas gasosas como fotossíntese líquida (A_N), transpiração (E), condutância estomática (g_s) e concentração interna de CO_2 (C_i) foram as variáveis que mostraram maior valor de influência para este mês. Em fevereiro, a fluorescência máxima (F_m), fluorescência mínima (F_0), a eficiência do uso de água (WUE) e a espessura do mesofilo (MT) e o diâmetro dos canais secretores (SCN) (Figura 10).

Os resultados de fotossíntese (Figura 2 A) corroboram com um estudo utilizando plantas de *Cistus albidus* em que as maiores taxas fotossintéticas foram atribuídas à maior disponibilidade hídrica para as plantas, que também apresentavam maior condutância estomática e taxa transpiratória (LLUSIÀ *et al.*, 2010). Além disso, no bacupari o maior potencial hídrico foliar possibilitou que a planta apresentasse maior transpiração (Figura 2 B) e condutância estomática (Figura 2 D) em novembro, permitindo maior atividade fotossintética no mês em que foi registrada a maior precipitação. Em plantas de *Garcinia brasiliensis* sob déficit hídrico o aumento do potencial hídrico também foi relacionado com o aumento na condutância estomática (DOS SANTOS GOUVÊA; MARENCO, 2018). Isso demonstra a capacidade de uma espécie de regular o uso da água de acordo com a disponibilidade hídrica do meio (PAROLIN *et al.*, 2011).

No mês de novembro também ocorreu a menor eficiência do uso da água (Figura 2F), uma vez que a planta não necessitou de mecanismos de economia de água, apresentando elevada transpiração e condutância estomática devido à grande disponibilidade hídrica (Figura 2 B e D, respectivamente). Já nos meses de maio, agosto e fevereiro, o decréscimo na disponibilidade hídrica levou a planta a investir em economia de água (HATFIELD; DOLD, 2019).

Com relação à fluorescência da clorofila, mudanças em F_0 e F_m estão relacionadas à dissipação térmica de energia de excitação ou até mesmo desativação dos centros de reação do PSII (PORCAR-CASTELL *et al.*, 2008). O parâmetro de fluorescência inicial F_0 (Figura 3C) apresentou um alto valor em fevereiro explicitando efeitos negativos na fotossíntese, pois levam à redução da transferência de energia de excitação do complexo antena do PSII para os centros de reação. No mês de fevereiro, obteve-se um maior valor de fluorescência inicial que foi acompanhada por um maior valor de fluorescência máxima (Figura 3 A). Isso se justifica por ser um mês que tem por característica de ser mais ensolarado, mais quente e com uma intensidade luminosa média maior (ROSADO; DE MATTOS, 2016) do que os demais, o que foi confirmado pelos dados de radiação e de temperatura registrados.

No que se refere à produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (F_0/F_m), com aumento da radiação ao longo dos meses, esse parâmetro reduziu gradativamente até o mês de fevereiro (Figura 2 E). No presente trabalho houve uma separação entre os meses com menor precipitação (maio e agosto) e os meses com maior precipitação (setembro e fevereiro). Essa relação entre F_0/F_m é usada para indicar danos aos fotossistemas causados por estresse, sugerindo valores normais ou padrões entre 0.14

a 0.20 (ROHÁČEK, 2002). Assim, verificou-se que maiores danos ocorreram nos meses de maio e agosto do que nos demais meses. Uma resposta semelhante foi encontrada com plantas de *Rhododendron ponticum*, sugerindo que as plantas sob estresse podem adaptar seu aparelho fotossintético de acordo com o aumento da irradiância no ambiente (OSÓRIO; OSÓRIO; ROMANO, 2010).

O rendimento quântico máximo do PS II (F_v/F_m) também apresentou um padrão diferenciado entre os meses de maio e agosto e os meses de novembro e fevereiro. Assim, maior F_v/F_m foi verificado nos meses de novembro e fevereiro, meses em que o rendimento quântico da etapa fotoquímica foi maior e quando foi registrada ausência de fotoinibição (F_v/F_m maior que 0,7) em relação aos demais meses de análise. Além disso, a atividade fotossintética potencial (F_v/F_0) aumentou progressivamente de maio até fevereiro, quando atingiu valores bem próximos a 4. Valores normais para F_v/F_0 são considerados entre 4 e 6, apontando ausência de danos à eficiência do processo fotoquímico (ZANANDREA *et al.*, 2014). Assim, nos meses de maio e agosto algum mecanismo pode ter influenciado negativamente F_v/F_m , reduzindo a atividade fotossintética potencial dessas folhas (SUN; WANG, 2018).

Em novembro, quando há maior disponibilidade de água, há menores limitações estomática e bioquímica, de modo que as maiores trocas gasosas e o funcionamento da etapa bioquímica proporcionaram maior taxa fotossintética líquida nas plantas. Nesse caso, a maior taxa transpiratória também pode ter contribuído para redução da temperatura foliar, mantendo o processo fotossintético (DE KAUWE *et al.*, 2019). Nesse mês o bom funcionamento da etapa fotoquímica foi comprovado pela ausência de fotoinibição. A eficiência do aparato fotossintético no mês de novembro não foi afetada sequer pela redução na quantidade de clorofila observada nas folhas, de modo que a planta deve ter apresentado algum efeito compensatório para superar a menor quantidade de pigmentos fotossintéticos sem comprometer a fotossíntese (CAI *et al.*, 2020).

Por outro lado, em maio, quando observou-se elevada radiação incidente e baixa pluviosidade, a limitação estomática parece ter sido relacionada com a maior temperatura foliar, uma vez que a taxa transpiratória foi reduzida em decorrência da baixa disponibilidade hídrica. Aliado a isso, ocorreu limitação fotoquímica representada pelo baixo F_v/F_m . Em contrapartida, a planta ainda apresentava elevada eficiência bioquímica, que permitiu utilização do Ci disponível no mesófilo (STOJNIC *et al.*, 2019).

Em agosto observou-se maior limitação bioquímica da fotossíntese. Nesse caso, além da redução na entrada de CO₂ no mesófilo, provavelmente as enzimas do Ciclo de

Calvin tenham apresentado menor ativação devido à menor radiação incidente. Aliado a isso, a limitação da etapa fotoquímica foi demonstrada pela ocorrência de fotoinibição (SHARMA *et al.*, 2020).

Em fevereiro, a baixa disponibilidade hídrica aliada às elevadas radiações incidente e temperatura ambiente também foram responsáveis pela ocorrência de limitações estomática e bioquímica da fotossíntese. Dessa maneira, a planta apresentou menor fluxo transpiratório visando manter sua hidratação diante da baixa disponibilidade hídrica, o que provavelmente tenha reduzido a entrada de CO₂ no mesofilo. Por outro lado, a elevação da temperatura foliar pode alterar a atividade das enzimas do Ciclo de Calvin, além de afetar outros processos (SHARMA *et al.*, 2020). Além disso, a redução na espessura do parênquima esponjoso e o aumento na espessura do paliçádico levaram à redução na proporção parênquima esponjoso: parênquima paliçádico em relação aos demais meses do ano. Essa alteração verificada no mesofilo das folhas no verão é típica de folhas de locais ensolarados, em que há maior síntese de clorofila (XU; VAVILIN; VERMAAS, 2001). No entanto, a grande quantidade de clorofila para captação da energia luminosa sob condições de baixa precipitação e elevada temperatura provavelmente tenha contribuído para o excesso de energia nos fotossistemas, contribuindo para a limitação do processo fotossintético no mês de fevereiro.

Com relação ao mesofilo foliar, são comuns variações em sua espessura como forma de adaptação às variações ambientais (BOSABALIDIS; KOFIDIS, 2002; MARCHIORI *et al.*, 2019). De modo geral, as espécies tendem a um espessamento do mesofilo durante as épocas com maior radiação fotossinteticamente ativa (MARCHIORI *et al.*, 2019). Existem espécies invasoras cujo aumento na espessura do mesofilo está relacionado com melhor desempenho fisiológico dessas plantas no decorrer das estações, promovendo seu crescimento e competitividade em relação às demais espécies (OLIVEIRA *et al.*, 2017). No caso do bacupari, ocorreu alteração na espessura dos parênquimas no verão, porém não foi suficiente para alterar a espessura do mesofilo no decorrer das estações do ano. Ademais, alterações na espessura das cutículas foram observadas somente na face abaxial da folha em novembro. Outra observação foi a maior espessura da cutícula adaxial do que da abaxial, um padrão típico de folhas que recebem maior radiação solar (BAHAMONDE; GIL; FERNÁNDEZ, 2018).

Testes histoquímicos realizados nas folhas e flores da família Clusiaceae demonstraram que a secreção produzida pelos ductos secretores consiste em resinas, óleos essenciais, lipídios, compostos fenólicos e proteínas (ALENCAR; TÖLKE; MAYER,

2019). A presença desses canais secretores preenchidos por um conteúdo lipídico e dispersos pelo parênquima fundamental próximos aos feixes vasculares nas faces abaxial e adaxial das folhas já foi descrita em *G. brasiliensis* (SANTA-CECÍLIA *et al.*, 2013). Nas folhas das plantas desse estudo, o número de canais secretores foi maior em novembro e fevereiro, enquanto o maior diâmetro foi observado em maio, novembro e fevereiro. Fatores ambientais como intensidade da luz e fotoperíodo, latitude, temperatura (mínima, média e máxima), solo (propriedades químicas e físicas), vento e disponibilidade hídrica, ou até mesmo uma combinação desses subfatores podem influenciar no rendimento e composição dos óleos essenciais (SILVA 2013). Nesse sentido, a maior produção de óleo essencial em novembro parece ter sido relacionada com a associação entre maior número e maior diâmetro dos canais secretores. Uma possível explicação para o menor rendimento no mês de fevereiro, apesar do grande número e diâmetro dos vasos, é a ocorrência de maior temperatura ambiente, que provavelmente tenha contribuído para maior volatilização do óleo essencial.

O mês de novembro foi um mês com a maior disponibilidade hídrica e pode ter afetado o maior rendimento do óleo essencial de folhas de *G. brasiliensis*, contudo, o rendimento do óleo essencial é mais suscetível ao ciclo vegetativo do que às variações climáticas (GOBBO-NETO; LOPES, 2007), o que pode explicar este aumento do outono em direção a primavera (SCHINDLER; DA SILVA; HEINZMANN, 2018) atingindo o maior rendimento na primavera, estação que a planta estava florescendo. Assim, a maior atividade fotossintética da planta possibilitou a atuação mais efetiva do metabolismo, principalmente por se tratar da Primavera, estação em que as plantas se encontram em metabolismo acelerado (LAMBERS; PONS; III, 2009) para possibilitar a rebrota, assim como o início do processo reprodutivo.

O maior rendimento de óleos essenciais na primavera no Brasil também foi observado em diferentes espécies vegetais (SILVA *et al.*, 2015; FERRAZ *et al.*, 2018; SCHINDLER; DA SILVA; HEINZMANN, 2018). Em plantas de *Nectandra grandiflora* o maior rendimento do óleo essencial das folhas ocorreu sob influência do teor de umidade e do período fenológico no qual se encontravam na primavera, sendo o ápice de floração da espécie (SILVA *et al.*, 2015). Para *Piper gaudichaudinianum* o melhor rendimento foi observado na primavera, período em que a planta se encontrava em maior estágio de maturação e frutificação (SCHINDLER; DA SILVA; HEINZMANN, 2018). Em *Nectandra lanceolata* e *Nectandra grandiflora* o óleo essencial foliar foi mais alto na primavera e no outono, da mesma forma que nesse estudo com *G. brasiliensis*. Esse maior

rendimento foi atribuído a questões climáticas da região estudada (DE OLIVEIRA FERRAZ *et al.*, 2018).

O óleo essencial das folhas de *G. brasiliensis* deste estudo teve um rendimento três vezes maior no mês de novembro se comparado ao óleo essencial do pericarpo (fruto) da mesma espécie (MARTINS *et al.*, 2008). O alto rendimento é válido sobretudo por se tratar do óleo essencial das folhas, que não necessitam de uma estação do ano específica para estarem disponíveis como é o caso dos frutos. Um estudo com o óleo essencial das folhas de nove espécies de *Garcinia* mostrou que *G. travancorica* tem um rendimento equiparado ao mês de maio deste estudo com *G. brasiliensis* (0.75%) e todas as oito espécies restantes tiveram um rendimento menor do que os encontrados nesta pesquisa (GARDEN, 2016). Dessa maneira, comparando-se com outras espécies de *Garcinia*, as folhas de *G. brasiliensis* apresentam maior produção de óleo essencial.

Além de alterar o rendimento do óleo essencial no decorrer dos meses do ano, a composição dos mesmos também sofreu influência da sazonalidade. Os compostos identificados no óleo essencial das folhas de *G. brasiliensis* (Tabela 4) apresentam inúmeras atividades biológicas e propriedades farmacológicas descritas na literatura. Considerando-se os compostos majoritários do óleo essencial, são classificados como sesquiterpenos. Grande parte dos componentes do óleo essencial das folhas de *G. brasiliensis* já foram identificados em óleos essenciais de outras espécies do gênero *Garcinia*.

O D-germacreno, A-germacreno e o α -cadinol foram compostos encontrados com um maior percentual no óleo de folhas de *Garcinia brasiliensis* do que em outras plantas da mesma família ou gênero. De certa forma, os compostos do óleo essencial seguiram um padrão de disponibilidade nos meses analisados, alguns foram mais abundantes nos dois meses com menor precipitação e temperatura (maio e agosto) e os demais nos meses mais quentes e chuvosos (novembro e fevereiro).

O α -Copaeno é um sesquiterpeno que apresenta propriedade antioxidante, antígeno-tóxica, anti-inflamatória, anticarcinogênica, hepatoprotetora e antimicrobiana (TAN *et al.*, 2019). O α -Copaeno foi encontrado no óleo essencial das folhas de *Garcinia gummi-gutta* (30.2%) (GARDEN, 2016).

Germacrenos são sesquiterpenos e se apresentam na forma de germacreno A, B e D, que foram encontrados no óleo essencial de *G. brasiliensis*. O D-germacreno é encontrado em plantas, fungos e bactérias sendo considerado um intermediário essencial no metabolismo dos sesquiterpenóides (SCHMIDT *et al.*, 1999) e foi encontrado em óleo

essencial de folhas de *Garcinia dulcis* (12.4%) (MENON *et al.*, 2019). O A-germacreno é um composto instável e sob o estresse térmico por altas temperaturas sofre isomerização e é convertido em β -elemeno (DE KRAKER *et al.*, 1998). O A-germacreno foi elucidado no óleo essencial de folhas de *Garcinia gummi-gutta* (0.6 %) (GARDEN, 2016). O óleo essencial de folhas de *Xylopija laevigata* contendo um alto teor de B-germacreno (43.6%) demonstrou atividade mutagênica e citostática em linfócitos humanos (PEREIRA *et al.*, 2019). Os germacrenos podem ter relação com a precipitação, uma vez que no mês de novembro, que apresentou a maior precipitação, também foi o mês com a maior produção destes compostos.

O α -cadinol é um álcool sesquiterpenóide com propriedade antifúngica, antimicrobiana e hepatoprotetora (HO *et al.*, 2011; TUNG *et al.*, 2011). Este composto foi encontrado em óleo essencial de folhas de *Garcinia pushpangadaniana* (0.5%), *Garcinia xanthochymus* (0.9%) e *Garcinia talbotii* (0.1%) (GARDEN, 2016). O cadineno é um sesquiterpeno bicíclico. O δ -cadineno inibe o crescimento de células cancerígenas do ovário via apoptose dependente de caspase e parada do ciclo celular (HUI *et al.* 2015).

O β -elemeno é um sesquiterpeno muito utilizado na medicina tradicional chinesa para o tratamento de inúmeros tipos de câncer. O β -elemeno aumenta a sensibilidade das células tumorais a quimioterapia e a radioterapia, além de inibir a proliferação celular, interromper o ciclo celular e induzir a apoptose (ZHAI *et al.* 2019). Este composto foi encontrado em óleo essencial de folhas de *Garcinia xanthochymus* (4.6 %) (GARDEN, 2016).

O α -humuleno é um sesquiterpeno monocíclico. O humuleno é um isômero do β -cariofileno, e os dois são frequentemente encontrados juntos. O α -humuleno possui propriedade anti-inflamatória (ROGERIO *et al.* 2009) e já foi encontrado no óleo essencial de folhas de *Garcinia pushpangadaniana* (6.6 %), *Garcinia xanthochymus* (3.2 %) e *Garcinia talbotii* (10.7 %) (GARDEN, 2016). O β -selineno é um sesquiterpeno com atividade anti-inflamatória, analgésica e antipirética (CHANDRA *et al.*, 2017). Esse composto foi encontrado em óleo essencial de folhas de *Garcinia dulcis* (24.5 %) (MENON *et al.*, 2019).

O óleo essencial de folhas de *Garcinia celebica* apresentou atividade citotóxica e antimicrobiana, tendo como principais compostos o α -copaeno (61.25%) e o D-germacreno (6.72%) (TAN *et al.*, 2019).

O γ -muuroleno é um sesquiterpeno, um composto carbocíclico e um membro de octa-hidronaftalenos e também foi encontrado no óleo essencial de folhas de *Garcinia*

pushpangadaniana (12.5 %), *Garcinia xanthochymus* (11.7 %) e *Garcinia talbotii* (3.8 %) (GARDEN, 2016). O γ -muuroleno foi o composto mais abundante na composição do óleo essencial do pericarpo de *G. brasiliensis* com 10.3% (MARTINS *et al.*, 2008). Os compostos α -copaeno (1.4%); α -cadinol (7.0%); δ -cadineno (8.3%); γ -cadineno (5.3%); β -elemeno (0.6%); α -humuleno (0.9%) e β -selineno (2,2%) também foram identificados no óleo essencial do pericarpo de *G. brasiliensis* (MARTINS *et al.*, 2008), que apresentou propriedade anti-inflamatória e antioxidante.

No entanto, no óleo essencial de folhas de *G. brasiliensis* foram identificados compostos, tais como bicyclogermacreno e cariophilenos, que não foram descritos para o óleo extraído do pericarpo dos frutos da mesma espécie. O bicyclogermacreno é um sesquiterpeno com ação larvicida contra os mosquitos *A. subpictus*, *A. albopictus* e *C. tritaeniorhynchus* que são transmissores da dengue e malária (GOVINDARAJAN; BENELLI, 2016). O bicyclogermacreno foi encontrado no óleo essencial de folhas de *Garcinia wightii* (22.6 %) (GARDEN, 2016). Cariophilenos são sesquiterpenos bicíclicos e foram encontrados o Z e o E. O E-cariophileno possui inúmeras atividades biológicas, como anti-inflamatória, anticarcinogênica, anti-fibrótica, ansiolítica, anestésica, anticâncer, antioxidante e antimicrobiana (DAHAM *et al.*, 2015; KLAUKE *et al.*, 2014). O E-cariophileno foi encontrado em óleo essencial de folhas de *Garcinia morella* var. *mucrona* (69.6%) e *Garcinia xanthochymus* (15.7%) (MENON *et al.*, 2019).

O bicyclogermacreno foi encontrado em óleos essenciais de plantas da família Clusiaceae com concentração girando em torno de 5 a 5.8% (ALAN *et al.*, 2010; RADULOVIC; DOROEVIC; PALIĆ, 2010). Este composto parece ter relação com meses mais secos, em que a precipitação foi baixa, uma vez que estava disponível somente em maio (6.3%), e não foi encontrado no óleo essencial nos demais meses analisados neste estudo.

5 CONCLUSÃO

Os parâmetros fisiológicos, anatômicos e a produção de óleo essencial nas folhas de *G. brasiliensis* sofrem influência do ambiente no decorrer dos meses do ano, mostrando a ligação do metabolismo primário e secundário. Existe maior efeito da sazonalidade sobre o rendimento do óleo essencial de *G. brasiliensis* do que sobre a qualidade de seus compostos. O maior rendimento do óleo essencial de folhas de bacupari ocorre na primavera e está diretamente relacionado com as maiores trocas gasosas, assim como com o maior número e diâmetro de canais secretores presentes na nervura central das folhas. O óleo essencial de *G. brasiliensis* é rico em sesquiterpenos, tendo Germacrenos e Cariofilenos como compostos majoritários.

AGRADECIMENTOS

À CAPES (Código de Financiamento 001), à FAPEMIG e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ABE, Fumiko *et al.* Trypanocidal Constituents in Plants 3. Leaves of *Garcinia intermedia* and Heartwood of *Calophyllum brasiliense*. **Biological & Pharmaceutical Bulletin**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 141–143, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1248/bpb.27.141>
- ADAMS, Robert P. *et al.* Preliminary comparison of vetiver root essential oils from cleansed (bacteria- and fungus-free) versus non-cleansed (normal) vetiver plants. **Biochemical Systematics and Ecology**, [S. l.], v. 32, n. 12, p. 1137–1144, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2004.03.013>
- AINSWORTH, Elizabeth A.; GILLESPIE, Kelly M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. **Nature Protocols**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 875–877, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>
- ALAN, Sevim *et al.* Composition and anticandidal activity of the essential oil of *hypericum perforatum* L. **Asian Journal of Chemistry**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 1315–1320, 2010.
- ALENCAR, Ana Claudia; TÖLKE, Elisabeth; MAYER, Juliana. New perspectives on secretory structures in *Clusia* (Clusiaceae - Clusiod clade): production of latex or resins? [S. l.], 2019.
- AMARAL, Lúcio de Paula *et al.* Seasonal influence on the essential oil production of *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [S. l.], v. 58, n. 1, p. 12–21, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201502462>
- ARAÚJO, Fernanda de Oliveira *et al.* Bacupari (*Garcinia brasiliensis*) extract modulates intestinal microbiota and reduces oxidative stress and inflammation in obese rats. **Food Research International**, [S. l.], v. 122, n. December 2018, p. 199–208, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.012>
- ARORA, Arti; NAIR, Muraleedharan G.; STRASBURG, Gale M. Structure-activity relationships for antioxidant activities of a series of flavonoids in a liposomal system. **Free Radical Biology and Medicine**, [S. l.], v. 24, n. 9, p. 1355–1363, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(97\)00458-9](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(97)00458-9)
- BAGHALIAN, Kambiz *et al.* Effect of saline irrigation water on agronomical and

- phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 116, n. 4, p. 437–441, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.02.014>
- BAHAMONDE, Héctor A.; GIL, Luis; FERNÁNDEZ, Victoria. Surface properties and permeability to calcium chloride of *Fagus sylvatica* and *Quercus petraea* leaves of different canopy heights. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 9, n. April, p. 1–13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00494>
- BAKKALI, F. *et al.* Biological effects of essential oils - A review. **Food and Chemical Toxicology**, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- BALDWIN, Ian T. Plant volatiles. **Current Biology**, [S. l.], v. 20, n. 9, p. 1–6, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.02.052>
- BARROS, Jaime; DIXON, Richard A. Plant Phenylalanine/Tyrosine Ammonia-lyases. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 66–79, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.09.011>
- BOONSRI, Sompong *et al.* Antibacterial and cytotoxic xanthenes from the roots of *Cratoxylum formosum*. **Phytochemistry**, [S. l.], v. 67, n. 7, p. 723–727, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.01.007>
- BOSABALIDIS, Artemios M.; KOFIDIS, George. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. **Plant Science**, [S. l.], v. 163, n. 2, p. 375–379, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00135-8)
- BOUTAKIOUT, A. *et al.* Effects of different harvesting seasons on antioxidant activity and phenolic content of prickly pear cladode juice. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 471–480, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.005>
- CAI, Min ling *et al.* Photosynthetic compensation of non-leaf organ stems of the invasive species *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski at low temperature. **Photosynthesis Research**, [S. l.], n. 0123456789, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-020-00748-5>
- CALIXTO, João B. Twenty-five years of research on medicinal plants in Latin America: A personal view. **Journal of Ethnopharmacology**, [S. l.], v. 100, n. 1–2, p. 131–134, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.06.004>
- CARVALHO-SILVA, Luciano Bruno *et al.* Antioxidant, cytotoxic and antimutagenic activities of 7-epi-clusianone obtained from pericarp of *Garcinia brasiliensis*. **Food**

- Research International**, [S. l.], v. 48, n. 1, p. 180–186, 2012. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.003>
- CASTRO, Aline *et al.* Potent Schistosomicidal Constituents from *Garcinia brasiliensis*. **Planta Medica**, Stuttgart, v. 81, n. 09, p. 733–741, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1055/s-0035-1545927>
- CASTRO, Marília De M.; DEMARCO, Diego. Phenolic compounds produced by secretory structures in plants: A brief review. **Natural Product Communications**, [S. l.], v. 3, n. 8, p. 1273–1284, 2008. Disponível em:
<https://doi.org/10.1177/1934578x0800300809>
- CHANDRA, Mahesh *et al.* β -Selinene-Rich Essential Oils from the Parts of *Callicarpa macrophylla* and Their Antioxidant and Pharmacological Activities. **Medicines**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 52, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/medicines4030052>
- CHRISTENHUSZ, Maarten J. M.; BYNG, James W. The number of known plants species in the world and its annual increase. **Phytotaxa**, [S. l.], v. 261, n. 3, p. 201–217, 2016 a. Disponível em: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.261.3.1>
- CHRISTENHUSZ, Maarten J. M.; BYNG, James W. Phytotaxa. **Phytotaxa**, [S. l.], v. 261, n. 3, p. 201–217, 2016 b. Disponível em:
<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.261.3.1>
- CHUA, Lisa Y. W. *et al.* Influence of Drying Methods on the Antibacterial, Antioxidant and Essential Oil Volatile Composition of Herbs: a Review. **Food and Bioprocess Technology**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 450–476, 2019. Disponível em:
<https://doi.org/10.1007/s11947-018-2227-x>
- COMMISSO, Mauro *et al.* Impact of phenylpropanoid compounds on heat stress tolerance in carrot cell cultures. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 7, n. September, p. 1–16, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01439>
- CORRÊA, Rodrigo S. *et al.* Lupeol. **Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications**, [S. l.], v. 65, n. 3, p. 97–99, 2009. Disponível em:
<https://doi.org/10.1107/S0108270109004910>
- CRANG, Richard; LYONS-SOBASKI, Sheila; WISE, Robert. **Plant Anatomy**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77315-5>
- DA SILVA, Claudinei A. *et al.* Evaluating four modes of extraction to analyze bioactive compounds in *Garcinia brasiliensis* (bacupari) by high-performance liquid chromatography diode-array detection (HPLC-DAD). **Natural Product Research**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–5, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1716344>

DA SILVA, Luzimar Campos *et al.* Clusia hilariana and Eugenia uniflora as bioindicators of atmospheric pollutants emitted by an iron pelletizing factory in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 24, n. 36, p. 28026–28035, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0386-3>

DA SILVA RIBEIRO, João Everthon *et al.* Seasonal variation in gas exchange by plants of erythroxylum simonis plowman. **Acta Botanica Brasilica**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 287–296, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0240>

DAHAM, Saad S. *et al.* The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene β -caryophyllene from the essential oil of Aquilaria crassna. **Molecules**, [S. l.], v. 20, n. 7, p. 11808–11829, 2015. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/molecules200711808>

DAS, Essencial *et al.* Análise do efeito da sazonalidade sobre o ... ANÁLISE DO EFEITO DA SAZONALIDADE SOBRE O RENDIMENTO DO ÓLEO ANALYSIS OF THE SEASONALITY EFFECT ON THE ESSENTIAL OIL YIELD OF LEAVES OF Nectandra grandiflora Nees. [S. l.], p. 1065–1072, [s. d.].

DE CERQUEIRA, Martins Dias *et al.* Variação sazonal da composição do óleo essencial de myrcia salzmannii berg. (myrtaceae). **Química Nova**, [S. l.], v. 32, n. 6, p. 1544–1548, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000600035>

DE KAUWE, Martin G. *et al.* Examining the evidence for decoupling between photosynthesis and transpiration during heat extremes. **Biogeosciences**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 903–916, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-16-903-2019>

DE KRAKER, Jan Willem *et al.* (+)-Germacrene A biosynthesis - The committed step in the biosynthesis of bitter sesquiterpene lactones in chicory. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 117, n. 4, p. 1381–1392, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.117.4.1381>

DE LA ROSA, Laura A. *et al.* **Phenolic Compounds**. [S. l.]: Elsevier Inc., 2019. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813278-4.00012-9>

DE OLIVEIRA FERRAZ, Elza *et al.* Seasonality effects on chemical composition, antibacterial activity and essential oil yield of three species of Nectandra. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 13, n. 9, p. 1–13, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204132>

DIAS, Maria Inês *et al.* Exploring plant tissue culture to improve the production of phenolic compounds: A review. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 82, p. 9–22, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.016>

- DICKE, Marcel; BALDWIN, Ian T. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the “cry for help”. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 167–175, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.12.002>
- DIETZE, Michael C. *et al.* Nonstructural Carbon in Woody Plants. **Annual Review of Plant Biology**, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 667–687, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040054>
- DING, Hanying *et al.* Norathyriol reverses obesity- and high-fat-diet-induced insulin resistance in mice through inhibition of PTP1B. **Diabetologia**, [S. l.], v. 57, n. 10, p. 2145–2154, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00125-014-3315-8>
- DIXON, R. A.; PAIVA, N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **Plant Cell**, [S. l.], v. 7, n. 7, p. 1085–1097, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1085>
- DOS SANTOS GOUVÊA, Paula Romenya; MARENCO, Ricardo Antonio. Is a reduction in stomatal conductance the main strategy of *Garcinia brasiliensis* (Clusiaceae) to deal with water stress? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 321–333, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40626-018-0127-0>
- FIGUEIREDO, Sônia Aparecida *et al.* In vitro and in vivo photoprotective/photochemopreventive potential of *Garcinia brasiliensis* epicarp extract. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S. l.], v. 131, p. 65–73, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.01.004>
- FRANCISCO, Jose; SIDNEY, Jose. Chemical investigation of the genus. **Journal of Natural Products**, [S. l.], v. 47, n. August 1983, p. 15–19, 1984.
- FRUTUOSO, Valber Da Silva *et al.* Analgesic and anti-inflammatory activity of the aqueous extract of *Rheedia longifolia* Planch & Triana. **Memorias do Instituto Oswaldo Cruz**, [S. l.], v. 102, n. 1, p. 91–96, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0074-02762007000100016>
- FURZE, Morgan E. Seasonal patterns of nonstructural carbohydrate reserves in four woody boreal species1. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, [S. l.], v. 145, n. 4, p. 332, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3159/torrey-d-18-00007.1>
- GARDEN, Tropical Botanical. **Diversity of *Garcinia* species in the Western Ghats: Phytochemical Perspective**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.25173/978-81-924674-5-0>
- GASPARETTO, Adriana *et al.* Seasonal variation in the chemical composition,

antimicrobial and mutagenic potential of essential oils from *Piper cernuum*. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 95, p. 256–263, 2017. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.030>

GHASEMZADEH, Ali *et al.* Variation in secondary metabolite production as well as antioxidant and antibacterial activities of *Zingiber zerumbet* (L.) at different stages of growth. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 1–10, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1072-6>

GOBBO-NETO, Leonardo; LOPES, Norberto P. Plantas medicinais: Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 374–381, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200026>

GONTIJO, Vanessa Silva *et al.* Isolation and evaluation of the antioxidant activity of phenolic constituents of the *Garcinia brasiliensis* epicarp. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 132, n. 3, p. 1230–1235, 2012. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.110>

GOORÉ, Stéphane G. *et al.* Chemical composition of the leaf oil of *artabotrys jollyanus* from côte d'ivoire. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 414–418, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2017.04.001>

GOVINDARAJAN, Marimuthu; BENELLI, Giovanni. Eco-friendly larvicides from Indian plants: Effectiveness of lavandulyl acetate and bicyclogermacrene on malaria, dengue and Japanese encephalitis mosquito vectors. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 133, p. 395–402, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.035>

GUSTAFSON, Kirk R. *et al.* THE GUTTIFERONES, HIY-INHIBITORY BENZOPHENONES FROM *Svmuhonia alobulifera*, w *livinastonei*, *Garcinia ovalifolia* and *Clusia rosea* Kirk. **Tetrahedron**, [S. l.], v. 48, n. 10093–10102, p. 10, 1992.

HATFIELD, Jerry L.; DOLD, Christian. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 10, 2019.

Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>

HERNÁNDEZ, Yasnay *et al.* (Hydrocharitaceae) metabolites. [S. l.], v. 64, n. December, p. 1527–1535, 2016.

HO, Chen Lung *et al.* Composition and antifungal activities of the leaf essential oil of *Neolitsea parvigemma* from Taiwan. **Natural Product Communications**, [S. l.], v. 6, n. 9, p. 1357–1360, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1934578x1100600935>

HUSSAIN, Abdullah Ijaz *et al.* Chemical composition, antioxidant and antimicrobial

activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations.

Food Chemistry, [S. l.], v. 108, n. 3, p. 986–995, 2008. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.010>

JAHANGIR, Muhammad *et al.* Healthy and unhealthy plants: The effect of stress on the metabolism of Brassicaceae. **Environmental and Experimental Botany**, [S. l.], v. 67, n. 1, p. 23–33, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.007>

JOLLIFE, Ian T.; CADIMA, Jorge. Principal component analysis: A review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [S. l.], v. 374, n. 2065, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

JOSEPH, G. S. *et al.* Antiaflatoxic and antioxidant activities of Garcinia extracts.

International Journal of Food Microbiology, [S. l.], v. 101, n. 2, p. 153–160, 2005.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.001>

JUNIOR, Arquimedes G. *et al.* Estudo morfo-anatômico das folhas e caule da

Calophyllum brasiliense (Clusiaceae), uma contribuição ao estudo farmacognóstico da droga vegetal. **Acta Farmaceutica Bonaerense**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 371–376, 2005.

KALGHATGI, K. K.; RAO, P. V. S. Microbial L phenylalanine ammonia lyase.

Purification, subunit structure and kinetic properties of the enzyme from *Rhizoctonia solani*. **Biochemical Journal**, [S. l.], v. 149, n. 1, p. 65–72, 1975. Disponível em:

<https://doi.org/10.1042/bj1490065>

KHAN, Wajahatullah; PRITHIVIRAJ, Balakrishnan; SMITH, Donald L. Chitosan and chitin oligomers increase phenylalanine ammonia-lyase and tyrosine ammonia-lyase activities in soybean leaves. **Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 160, n. 8, p. 859–863, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00905>

KLAUKE, A. L. *et al.* The cannabinoid CB2 receptor-selective phytocannabinoid beta-caryophyllene exerts analgesic effects in mouse models of inflammatory and neuropathic pain. **European Neuropsychopharmacology**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 608–620, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2013.10.008>

KOO, Michel Hyun; KUN, Yong. Investigation of Flayonoid Aglycones in Propolis Collected. [S. l.], v. 61, n. 2, p. 367–369, 1997.

KUMAR, Satyanshu; SHARMA, Shelly; CHATTOPADHYAY, Sunil Kumar. The potential health benefit of polyisoprenylated benzophenones from *Garcinia* and related genera: Ethnobotanical and therapeutic importance. **Fitoterapia**, [S. l.], v. 89, n. 1, p. 86–125, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.05.010>

- LAMBERS, Hans; PONS, Thijs L.; III, F. Stuart Chapin. **Plant physiological ecology**. [S. l.: s. n.]. v. 46E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.5860/choice.46-4432>
- LEE, Yee Ling; DING, Phebe. Physiological production of essential oil in plants - Ontogeny, secretory structures and seasonal variations. **Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 0–10, 2016.
- LENTA, Bruno Ndjakou *et al.* Leishmanicidal and cholinesterase inhibiting activities of phenolic compounds from *Allanblackia monticola* and *Symphonia globulifera*. **Molecules**, [S. l.], v. 12, n. 8, p. 1548–1557, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/12081548>
- LI, Nani *et al.* Leaf non-structural carbohydrates regulated by plant functional groups and climate: Evidences from a tropical to cold-temperate forest transect. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 62, p. 22–31, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.017>
- LIANOPOULOU, Vaia *et al.* Effects of chilling stress on leaf morphology, anatomy, ultrastructure, gas exchange, and essential oils in the seasonally dimorphic plant *Teucrium polium* (Lamiaceae). **Acta Physiologiae Plantarum**, [S. l.], v. 36, n. 8, p. 2271–2281, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1605-x>
- LIU, Wandu *et al.* Non-structural carbohydrates regulated by season and species in the subtropical monsoon broad-leaved evergreen forest of Yunnan Province, China. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 1–10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19271-8>
- LLUSIÀ, Joan *et al.* Annual and seasonal changes in foliar terpene content and emission rates in *cistus albidus* L. submitted to soil drought in Prades Forest (Catalonia, NE Spain). **Acta Physiologiae Plantarum**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 387–394, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0416-y>
- LORETO, Francesco *et al.* Plant volatiles and the environment. **Plant, Cell and Environment**, [S. l.], v. 37, n. 8, p. 1905–1908, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.12369>
- LORETO, Francesco; SCHNITZLER, Jörg Peter. Abiotic stresses and induced BVOCs. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 154–166, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.12.006>
- MACHADO, Filipa *et al.* Photosynthetic performance and volatile organic compounds profile in *Eucalyptus globulus* after UVB radiation. **Environmental and Experimental Botany**, [S. l.], v. 140, n. November 2016, p. 141–149, 2017. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.05.008>

MANOHAR, S. H. *et al.* Chemical composition of *Garcinia xanthochymus* seeds, seed oil, and evaluation of its antimicrobial and antioxidant activity. **Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 148–155, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10496475.2013.847886>

MARCHIORI, Nidia Mara *et al.* Effects of seasonal air temperatures and light on leaf traits at atlantic montane forest, Brazilian southeast. **Cerne**, [S. l.], v. 25, n. 3, p. 263–272, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01047760201925032625>

MARTINS, Felipe T. *et al.* Composition, and anti-inflammatory and antioxidant activities of the volatile oil from the fruit peel of *Garcinia brasiliensis*. **Chemistry and Biodiversity**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 251–258, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cbdv.200890022>

MEDINA, Miguel A. *et al.* Hyperforin: More than an antidepressant bioactive compound? **Life Sciences**, [S. l.], v. 79, n. 2, p. 105–111, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.12.027>

MEHTA, P. M.; BHAVNARAYANA, K. Role of phenylalanine and tyrosine ammonia lyase enzymes in the pigmentation during development of brinjal fruit. **Proceedings: Plant Sciences**, [S. l.], v. 90, n. 4, p. 293–297, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF03052927>

MENON, Lekshmi N. *et al.* Profiles of volatile chemicals from the leaves of six *Garcinia* species from North East India. **Natural Product Research**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–5, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1667349>

MERZA, Joumaa *et al.* Prenylated xanthenes and tocotrienols from *Garcinia virgata*. **Phytochemistry**, [S. l.], v. 65, n. 21 SPEC. ISS., p. 2915–2920, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.06.037>

MILLER, Gail Lorenz. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>

MOHAN RAO, Lingamallu Jagan *et al.* Occurrence of antioxidant and radical scavenging proanthocyanidins from the Indian minor spice nagkesar (*Mammea longifolia* planch and triana syn). **Bioorganic and Medicinal Chemistry**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 31–36, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2003.10.052>

MORAIS LAS. Influência Dos Fatores Ambientais Na Composição Química Dos Óleos Essenciais. **Horticultura Brasileira**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 4050–4063, 2009. Disponível

- em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/143457/1/2009AA-051.pdf>
- MOREIRA, Maria Eliza de Castro *et al.* Bacupari peel extracts (*Garcinia brasiliensis*) reduce high-fat diet-induced obesity in rats. **Journal of Functional Foods**, [S. l.], v. 29, p. 143–153, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.11.001>
- NAVES, V. M. L. *et al.* Antimicrobial and antioxidant activity of *Garcinia brasiliensis* extracts. **South African Journal of Botany**, [S. l.], v. 124, p. 244–250, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.021>
- NDJAKOU LENTA, B. *et al.* In vitro antiprotozoal activities and cytotoxicity of some selected Cameroonian medicinal plants. **Journal of Ethnopharmacology**, [S. l.], v. 111, n. 1, p. 8–12, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.10.036>
- OKHALE, Samuel *et al.* Chemical Constituents and Antimicrobial Activity of the Leaf Essential Oil of *Garcinia kola* Heckel (Clusiaceae) from Nigeria. **American Chemical Science Journal**, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 1–7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/acsj/2016/24019>
- OLIVEIRA, Grazielle C. *et al.* Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. **Chilean Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 76, n. 1, p. 123–128, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000100017>
- OLIVEIRA, Marciel T. *et al.* Seasonal variability in physiological and anatomical traits contributes to invasion success of *Prosopis juliflora* in tropical dry forest. **Tree Physiology**, [S. l.], v. 37, n. 3, p. 326–337, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw123>
- OSÓRIO, M. L.; OSÓRIO, J.; ROMANO, A. Chlorophyll fluorescence in micropropagated *Rhododendron ponticum* subsp. *baeticum* plants in response to different irradiances. **Biologia Plantarum**, [S. l.], v. 54, n. 3, p. 415–422, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10535-010-0076-1>
- PANG, Xiufeng *et al.* Morelloflavone, a biflavonoid, inhibits tumor angiogenesis by targeting Rho GTPases and extracellular signal-regulated kinase signaling pathways. **Cancer Research**, [S. l.], v. 69, n. 2, p. 518–525, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-08-2531>
- PEREIRA, I. O. *et al.* Leishmanicidal activity of benzophenones and extracts from *Garcinia brasiliensis* Mart. fruits. **Phytomedicine**, [S. l.], v. 17, n. 5, p. 339–345, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.07.020>
- PEREIRA, Sérgio Parreiras *et al.* Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro

em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 152–160, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000200006>

PEREIRA, Tais Susane *et al.* Mutagenic and cytostatic activities of the *Xylopi* *laevigata* essential oil in human lymphocytes. **Natural Product Research**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1624956>

PETERSEN, Maike; HANS, Joachim; MATERN, Ulrich. **Biosynthesis of Phenylpropanoids and Related Compounds (From APR Volume 40)**. [S. l.: s. n.]. v. 40E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0426>

PICCINELLI, Anna Lisa *et al.* Structural revision of clusianone and 7-epi-clusianone and anti-HIV activity of polyisoprenylated benzophenones. **Tetrahedron**, [S. l.], v. 61, n. 34, p. 8206–8211, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tet.2005.06.030>

PINTO, Angelo C. *et al.* Produtos naturais: Atualidade, desafios e perspectivas.

Química Nova, [S. l.], v. 25, n. SUPPL. 1, p. 45–61, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422002000800009>

POORTER, Hendrik; NAGEL, Oscar. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: A quantitative review. **Australian Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 27, n. 6, p. 595–607, 2000.

RABÊLO, Valquíria Mikaela *et al.* The foliar application of a mixture of semisynthetic chitosan derivatives induces tolerance to water deficit in maize, improving the antioxidant system and increasing photosynthesis and grain yield. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44649-7>

RADULOVIC, Niko S.; DOROEVIC, Aleksandra S.; PALIĆ, Radosav M. The intrasectional chemotaxonomic placement of *Hypericum elegans* Stephan ex WILLD. Inferred from the essential-oil chemical composition. **Chemistry and Biodiversity**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 943–952, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cbdv.200900252>

RAMÍREZ-BRIONES, Ernesto *et al.* Seasonal variation in non-structural carbohydrates, sucrolytic activity and secondary metabolites in deciduous and perennial *Diospyros* species sampled in Western Mexico. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 12, n. 10, p. 1–24, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187235>

REHMAN, Rafia *et al.* Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: A review. **Food Reviews International**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 117–160, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1057841>

- RIBEIRO DE CARVALHO, R. *et al.* Promising synergistic activity of fluconazole with bioactive Guttiferone-A and derivatives against non-albicans *Candida* species. **Journal de Mycologie Medicale**, [S. l.], v. 28, n. 4, p. 645–650, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2018.07.006>
- ROHÁČEK. **Chlorophyll Fluorescence Parameters.pdf**. [S. l.: s. n.]
- ROSADO, Bruno Henrique Pimentel; DE MATTOS, Eduardo A. Chlorophyll fluorescence varies more across seasons than leaf water potential in drought-prone plants. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 88, p. 549–563, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150013>
- ROYCHOUDHURY, Aryadeep; TRIPATHI, Durgesh. **Molecular plant abiotic stress : biology and biotechnology**. [S. l.: s. n.]. *E-book*.
- SABRA, Ali S. *et al.* Response of Biomass Development, Essential Oil, and Composition of *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. to Irrigation Frequency and Harvest Time. **Chemistry and Biodiversity**, [S. l.], v. 15, n. 3, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800005>
- SALEHI SHANJANI, Parvin *et al.* Effects drying and harvest season on the essential oil composition from foliage and berries of *Juniperus excelsa*. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 83–87, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.03.003>
- SALES, Leilane *et al.* Anticancer activity of 7-epiclusianone, a benzophenone from *Garcinia brasiliensis*, in glioblastoma. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 1–8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12906-015-0911-1>
- SANTA-CECÍLIA, F. V. *et al.* Estudo farmacobotânico das folhas de *Garcinia brasiliensis* Mart. (Clusiaceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 397–404, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000300013>
- SANTA-CECÍLIA, Flávia V. *et al.* Anti-inflammatory and antinociceptive effects of *Garcinia brasiliensis*. **Journal of Ethnopharmacology**, [S. l.], v. 133, n. 2, p. 467–473, 2011 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.09.036>
- SANTA-CECÍLIA, Flávia V. *et al.* Antinociceptive and anti-inflammatory properties of 7-epiclusianone, a prenylated benzophenone from *Garcinia brasiliensis*. **European Journal of Pharmacology**, [S. l.], v. 670, n. 1, p. 280–285, 2011 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2011.08.032>

- SARONI ARWA, Phaniel *et al.* Redox-active biflavonoids from *Garcinia brasiliensis* as inhibitors of neutrophil oxidative burst and human erythrocyte membrane damage. **Journal of Ethnopharmacology**, [S. l.], v. 174, p. 410–418, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.08.041>
- SCHINDLER, Bianca; DA SILVA, Daniela Thomas; HEINZMANN, Berta Maria. Efeito da sazonalidade sobre o rendimento do óleo essencial de *Piper gaudichaudianum* kunth. **Ciencia Florestal**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 263–273, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509831581>
- SCHMIDT, Claus O. *et al.* Mechanisms of the biosynthesis of sesquiterpene enantiomers (+)- and (-)-germacrene D in *Solidago canadensis*. **Chirality**, [S. l.], v. 11, n. 5–6, p. 353–362, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-636X\(1999\)11:5/6<353::AID-CHIR2>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-636X(1999)11:5/6<353::AID-CHIR2>3.0.CO;2-L)
- SHARMA, Sonika *et al.* **Regulation of the Calvin cycle under abiotic stresses: an overview**. [S. l.]: INC, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818204-8.00030-8>
- SRIPATHI, Raju; JAYAGOPAL, Dharani; RAVI, Subban. A study on the seasonal variation of the essential oil composition from *Plectranthus hadiensis* and its antibacterial activity. **Natural Product Research**, [S. l.], v. 32, n. 7, p. 871–874, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1363748>
- STOJNIĆ, Srđan *et al.* The use of physiological, biochemical and morpho-anatomical traits in tree breeding for improved water-use efficiency of *Quercus robur* L. **Forest Systems**, [S. l.], v. 28, n. 3, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5424/fs/2019283-15233>
- SUN, Dongbao; WANG, Qingsuo. Linear Relationships between Photosynthetic Rate and Photochemical Energy Expressed by $\frac{F_v}{F_m}$ and $\frac{F_v}{F_m}$. **American Journal of Plant Sciences**, [S. l.], v. 09, n. 02, p. 125–138, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.92011>
- SUZART, Luciano R. *et al.* Biodiversidade flavonoídica e aspectos farmacológicos em espécies dos gêneros *Ouratea* e *Luxemburgia* (Ochnaceae). **Quimica Nova**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 984–987, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000400038>
- TAIZ, Lincon *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal Diversidade vegetal**. [S. l.]: s. n.]. v. 6 ed. *E-book*.

- TAN, Wen-Nee *et al.* Sesquiterpenes rich essential oil from *Garcinia celebica* L. and its cytotoxic and antimicrobial activities. **Natural Product Research**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–5, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1569012>
- TARIN, Tonantzin *et al.* Water-use efficiency in a semi-arid woodland with high rainfall variability. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 496–508, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14866>
- TASSONI, Annalisa *et al.* Seasonal changes in amino acids and phenolic compounds in fruits from hybrid cross populations of American grapes differing in disease resistance. **Plant Physiology and Biochemistry**, [S. l.], v. 135, n. December 2018, p. 182–193, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.034>
- TUNG, Yu Tang *et al.* Bioactive phytochemicals of leaf essential oils of *Cinnamomum osmophloeum* prevent lipopolysaccharide/ d -galactosamine (LPS/ d -GalN)-induced acute hepatitis in mice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 59, n. 15, p. 8117–8123, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf2018935>
- VALARES MASA, Cristina *et al.* Quantitative Variation of Flavonoids and Diterpenes in Leaves and Stems of *Cistus ladanifer* L. at Different Ages. **Molecules (Basel, Switzerland)**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 275, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules21030275>
- WABO, Hippolyte K. *et al.* Xanthonés and a benzophenone from the roots of *Pentadesma butyracea* and their antiproliferative activity. **Phytochemistry Letters**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 104–107, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2010.02.006>
- WAHID, A. *et al.* Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany**, [S. l.], v. 61, n. 3, p. 199–223, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>
- WAKABAYASHI, Kazuyuki; HOSON, Takayuki; KAMISAKA, Seiichiro. Osmotic stress suppresses cell wall stiffening and the increase in cell wall-bound ferulic and diferulic acids in wheat coleoptiles. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 113, n. 3, p. 967–973, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.113.3.967>
- WANG, Lei *et al.* System level analysis of cacao seed ripening reveals a sequential interplay of primary and secondary metabolism leading to polyphenol accumulation and preparation of stress resistance. **The Plant journal : for cell and molecular biology**, [S. l.], v. 87, n. 3, p. 318–332, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/tpj.13201>
- WIDHALM, Joshua R. *et al.* Identification of a plastidial phenylalanine exporter that

influences flux distribution through the phenylalanine biosynthetic network. **Nature Communications**, [S. l.], v. 6, p. 1–11, 2015. Disponível em:

<https://doi.org/10.1038/ncomms9142>

XU, H.; VAVILIN, D.; VERMAAS, W. Chlorophyll b can serve as the major pigment in functional photosystem II complexes of cyanobacteria. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S. l.], v. 98, n. 24, p. 14168–14173, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.251530298>

YAN, Shunping *et al.* Salicylic acid activates DNA damage responses to potentiate plant immunity. **Molecular Cell**, [S. l.], v. 52, n. 4, p. 602–610, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2013.09.019>

YEDDES, Walid *et al.* Effect of bioclimatic area and season on phenolics and antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) leaves. **Journal of Essential Oil Research**, [S. l.], v. 31, n. 5, p. 432–443, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10412905.2019.1577305>

YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino-acids with ninhydrin. **The Analyst**, [S. l.], v. 80, n. 948, p. 209–214, 1955. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/AN9558000209>

ZAMITH, Luiz Roberto; SCARANO, Fábio Rubio. Produção de mudas de espécies das Restingas do. **Acta bot. bras.**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 161–176, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abb/v18n1/v18n1a14>

ZAN, Renato André *et al.* Bioactive properties and phytochemical assessment of Bacupari-anão (: *Garcinia brasiliensis* Mart.) leaves native to Rondônia, Brazil. **Food and Function**, [S. l.], v. 9, n. 11, p. 5621–5628, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c8fo01474d>

ZANANDREA, Ilisandra *et al.* EFEITO DA SALINIDADE SOB PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA EM *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 157–161, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.18539/cast.v12i2.4512>

Tabela S1 - Análise química do solo de cultivo das plantas de *G. brasiliensis*. As amostras foram coletadas nos meses de maio, agosto, novembro e fevereiro.

Months	pH	OM	Total C	P	K	Ca	Mg	H ⁺ Al	Al	H	S. B	CEC	V%
		-----g dm ⁻³ -----		mg dm ⁻³	-----mmol dm ⁻³ -----								
May	5.7	17	10	2	2.7	23	6	20	0	20	31.7	51.7	61
Aug	5.4	18	10	4	3.4	25	7	20	0	20	35.4	55.4	64
Nov	5.8	17	10	4	0.7	5	1	14	0	14	6.7	20.7	32
Feb	5.8	15	9	9	2.8	22	6	12	2	10	30.8	42.8	62

Months	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	K	Ca	Mg	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
	-----mg dm ⁻³ -----						-----CEC (%)-----						
May	0.4	1.9	8	2.1	0.8	4	5.2	44.5	11.6	0	3.8	8.5	2.2
Aug	0.3	3.6	11	4.1	1.1	3	6.1	45.1	2.6	0	3.6	7.4	2.1
Nov	0.2	4.7	12	3	1.2	7	3.4	24.2	4.8	0	5.0	7.1	1.4
Feb	0.2	2.9	10	3.6	1.1	15	6.5	51.4	14.0	4.7	3.7	7.9	2.1

* Os valores correspondem à média de quatro pontos de coleta de solo em cada um dos meses de análise. OM: organic matter; Total C: total carbon; SB: sum of bases; CEC: cation exchange capacity; V%: percentage of base saturation.

Tabela S2: Análise nutricional de folhas de *G. brasiliensis* nos meses de maio, agosto, novembro e fevereiro.

Months	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe
	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----				
May	11.43	0.66	10.10	13.36	1.05	1.81	111.07	10.49	598.13	47.91	136.92
Aug.	13.50	0.63	9.22	8.88	0.94	1.56	94.01	3.80	635.23	27.98	128.20
Nov.	12.73	0.83	7.89	4.28	1.46	1.66	42.83	5.90	453.60	32.35	21.93
Feb.	13.43	1.00	10.31	8.69	1.39	1.74	65.09	4.90	450.01	47.86	72.98

Tabela S3 - Análise física do solo. As amostras foram coletadas nos meses de maio, agosto, novembro e fevereiro formando uma amostra composta onde a média está descrita na tabela.

Clay	Silt	Total Sand	Coarse Sand	Total Sand	Classification
		-----g kg ⁻¹ -----			
246	257	497	285	213	Clay loam soil

* Os valores correspondem à leitura de uma amostra composta por folhas completamente expandidas do terço médio em cada um dos quatro pontos da copa.

Tabela S4- Composição química do óleo essencial de folhas de *Garcinia brasiliensis* nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb).

RT	KI	COMPOST	Months							
			May (%)	SE	Aug (%)	SE	Nov (%)	SE	Feb (%)	SE
22.33	1351	Cubebene < α ->	1.12	0.05	1.00	0.07	1.53	0.40	1.00	0.08
23.43	1375	Ylangene < α ->	0.28	0.02	0.24	0.02	0.23	0.02	0.21	0.01
23.49	1376	Copaene < α ->	2.91	0.10	2.59	0.14	2.74	0.28	1.98	0.66
24.04	1388	Cubebene < β ->	0.35	0.02	0.33	0.02	0.33	0.01	0.30	0.01
24.05	1388	Bourbonene < β ->	1.15	0.08	1.07	0.13	1.09	0.15	0.92	0.06
24.15	1390	Elemene < β ->	5.22	0.25	5.71	0.27	4.77	0.23	4.68	0.19
26494	1470	Gurjunene < α ->	0.06	0.01	1.98	1.66	0.06	0.01	0.06	0.01
24.95	1408	Caryophyllene <(Z)->	10.17	0.20	10.29	0.22	9.70	0.38	10.01	0.29
25.36	1419	Caryophyllene <(E)->	9.27	0.12	8.67	0.34	10.71	0.20	10.70	0.78
25.9	1432	Copaene < β ->	1.11	0.08	0.93	0.03	0.93	0.10	0.87	0.02
26.08	1436	Elemene < γ ->	0.24	0.02	0.25	0.01	0.27	0.01	0.24	0.02
26.33	1442	Farnesene <(Z)- β ->	0.19	0.00	0.19	0.01	0.21	0.00	0.19	0.01
28.09	1510	Himachalene < α ->	0.27	0.02	0.33	-	0.30	0.01	0.22	0.01
26.82	1454	Humulene < α ->	2.81	0.10	2.82	0.04	2.72	0.09	2.67	0.08
27.89	1505	Aromadendrene	0.22	0.01	0.25	0.04	0.21	0.02	0.18	0.00
27.07	1460	Aromadendrene <allo->	0.72	0.06	0.64	0.05	0.53	0.05	0.51	0.02
27.33	1466	Caryophyllene <9-epi-(E)->	-	-	0.19	0.00	-	-	-	-
27.6	1472	Dauca-5.8-diene	-	-	0.20	0.01	-	-	0.20	0.01
27.63	1473	Aristolochene <4.5-di-epi->	0.21	0.01	0.20	0.01	0.24	0.01	0.22	0.02
27.91	1479	Murolene < γ ->	4.63	0.26	4.61	0.36	3.47	0.41	3.53	0.26
27.99	1481	Germacrene D	21.25	1.50	22.70	1.94	24.69	0.82	25.53	1.11
28.37	1490	Selinene < β ->	4.76	0.24	4.60	0.34	3.97	0.27	4.12	0.07
28.53	1493	Murola-4(14).5-diene<trans->	0.50	0.01	0.48	0.01	0.48	0.01	0.49	0.04
28.62	1495	Cadina-1,4-diene <cis->	0.54	0.07	0.46	0.03	0.33	0.02	0.40	0.01
28.83	1500	Murolene < α ->	1.53	0.10	1.40	0.08	1.37	0.09	1.35	0.04
29.18	1509	Germacrene A	5.74	0.26	6.34	0.97	7.65	0.50	7.58	0.71
29.35	1513	Cadinene < γ ->	2.90	0.19	2.82	0.32	2.03	0.31	2.05	0.18
29.72	1522	Cadinene < δ ->	6.07	0.27	5.85	0.33	4.80	0.32	5.11	0.12
30.33	1538	Cadinene < α ->	0.70	0.05	0.70	0.09	0.51	0.08	0.50	0.05
30.87	1582	Panasinsen < α ->	0.15	0.01	0.14	0.01	0.18	0.04	0.13	0.01
31.24	1561	Germacrene B	6.01	0.32	6.52	0.32	6.63	0.28	7.00	0.37
32.5	1590	Globulol	0.33	0.06	0.39	0.05	0.39	0.07	0.28	0.03
32.89	1600	Rosifoliol	0.10	0.02	0.12	0.01	0.16	0.02	0.11	0.01
33.61	1619	Junenol	0.18	0.03	0.20	0.03	0.29	0.08	0.20	0.03
33.95	1628	Cubenol <1-epi->	0.20	0.03	0.22	0.03	0.25	0.06	0.20	0.03
34.46	1642	Murolol <epi- α ->	0.53	0.10	0.51	0.06	0.64	0.14	0.48	0.06
34.61	1646	Murolol < α -> (=Torreyol)	0.22	0.04	0.28	0.03	0.25	0.05	0.19	0.03

Continua na próxima página...

.... Continuação da Tabela S4:

RT	KI	COMPOST	Months							
			May (%)	SE	Aug (%)	SE	Nov (%)	SE	Feb (%)	SE
34.93	1654	Cadinol < α ->	1.94	0.34	2.25	0.26	2.01	0.50	1.70	0.24
30.05	1560	Bicyclogermacrene	6.26	0.17	-	-	-	-	-	-
33.76	1659	Ledol	0.19	-	-	-	-	-	-	-
33.19	1644	Spathulenol	0.06	0.01	0.06	0.01	0.09	-	-	-
31.56	1659	Viridifluorol	0.29	0.04	-	-	0.31	0.10	0.27	0.04
36.24	1728	Eudesm 7 (11) en 4 ol	0.06	0.01	0.09	-	0.12	-	-	-
30	1559	Valencene	-	-	-	-	-	-	5.41	-
32.79	1633	Cubenol	0.10	-	0.12	-	0.20	-	-	-
30	1559	Chamigrene < β ->	-	-	6.34	-	-	-	-	-
27.06	1484	Bulnesene α	-	-	-	-	-	-	-	-
33.75	1724	Epiglobulol	1.26	-	0.32	0.04	1.39	0.99	0.27	-

Fonte: Do autor (2020)

Artigo 2- Influência sazonal nas características fisiológicas, bioquímicas e na produção de compostos fenólicos em folhas de *Garcinia brasiliensis*

RESUMO: A espécie *Garcinia brasiliensis* vem ganhando espaço na ciência por apresentar um rico potencial farmacológico, porém são escassos estudos que relacionem a ecofisiologia da planta no decorrer dos meses do ano e a produção de metabólitos secundários. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo identificar a influência sazonal nas características fisiológicas, bioquímicas e na produção de compostos fenólicos de interesse em folhas de *Garcinia brasiliensis*. Foram avaliadas plantas adultas com seis anos de idade, em condições de campo, com quatro repetições, ao longo de quatro meses do ano (maio, agosto, novembro e fevereiro). As avaliações foram efetuadas no terço médio da copa, em folhas completamente expandidas, de cada um dos quatro pontos cardeais. Foram avaliados a taxa fotossintética, potencial hídrico foliar, teor de carboidratos, proteínas, aminoácidos, compostos fenólicos, flavonoides e testes histoquímicos para a verificação da presença de amido e compostos fenólicos nas folhas. Também analisou-se a atividade da fenilalanina amônia liase (PAL) e da tirosina amônia liase (TAL), além da determinação de compostos isolados como 1,3,6,7-tetrahydroxyxanthone (Noratiriol), Moreloflavona (Fukugetina); Moreloflavona-7-O- β -D-Glycosyl (fukugeside) e 7-Epiclusianona. A maior produção de metabólitos primários e a maior taxa fotossintética ocorreram em novembro, enquanto o teor de compostos fenólicos e a atividade da PAL e TAL foram maiores em fevereiro. A maior quantidade de Moreloflavona foi encontrada na folha em novembro. Foram identificados por histoquímica, grãos de amido e idioblastos fenólicos por toda a extensão da folha. A maior produção de compostos primários e fotossíntese ocorre no mês de novembro, enquanto a maior produção de compostos fenólicos acontece em fevereiro, sendo estes localizados de forma dispersa na nervura central e limbo em idioblastos. A produção de Moreloflavona é maior em novembro, indicando que a primavera, é a estação em regiões tropicais mais apropriada para a obtenção desta substância em folhas de *G. brasiliensis*.

Palavras-chave: Bacupari, fotossíntese, carboidratos, metabolismo secundário, Clusiaceae

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Garcinia sp.* é o maior da família Clusiaceae com cerca de 400 espécies dióicas distribuídas em regiões tropicais da África, Ásia, Nova Caledônia, Polinésia e Brasil (SANTA-CECÍLIA *et al.*, 2011b). A *Garcinia brasiliensis*, conhecida popularmente como bacupari, é uma espécie arbórea amazônica, que é amplamente cultivada no Brasil e em toda América do Sul (ZAN *et al.*, 2018). A espécie é conhecida pela produção de frutos comestíveis (ZAMITH; SCARANO, 2000) e pela sua utilização de cascas, folhas e frutos na medicina popular (KUMAR; SHARMA; CHATTOPADHYAY, 2013).

Espécies de *Garcinia sp.* são ricas em derivados fenólicos prenilados e oxigenados que exibem atividades biológicas (MERZA *et al.*, 2004). Desta maneira, a espécie *G. brasiliensis* tem despertado o interesse da ciência no mundo todo devido à produção de metabólitos de interesse farmacêutico (MARTINS *et al.*, 2008; ZAN *et al.*, 2018), geralmente relacionados a compostos fenólicos (SANTA-CECÍLIA *et al.*, 2011b). Compostos fenólicos isolados de extratos dessa planta apresentam propriedades anti-inflamatória, anti-HIV (ARAÚJO *et al.*, 2019; GUSTAFSON *et al.*, 1992), anti-obesidade (MOREIRA *et al.*, 2017), fotohemopreventiva (FIGUEIREDO *et al.*, 2014), antimutagênica, anticarcinogênica (CARVALHO-SILVA *et al.*, 2012; SALES *et al.*, 2015) e fungicida (RIBEIRO DE CARVALHO *et al.*, 2018).

A vasta composição química do extrato de *G. brasiliensis* pode oferecer grandes oportunidades para a indústria farmacêutica na produção de novos fármacos (DA SILVA *et al.*, 2020). Dentre os principais compostos fenólicos produzidos, a Moreloflavona (Fukugetina) é um biflavonoide que pode ser encontrado tanto em folhas como no epicarpo do gênero *Garcinia sp.* e tem propriedades tripanocida, leishmanicida (PEREIRA *et al.*, 2010), antioxidante (GONTIJO *et al.*, 2012; NAVES *et al.*, 2019; SARONI ARWA *et al.*, 2015), anti-inflamatória (SARONI ARWA *et al.*, 2015), antimicrobiana (NAVES *et al.*, 2019), esquistossomicida (CASTRO *et al.*, 2015), além de atuar na inibição da angiogênese tumoral (PANG *et al.*, 2009).

A síntese das diferentes classes de metabólitos secundários ocorre a partir de intermediários das rotas do metabolismo primário (WANG *et al.*, 2016), que está relacionado à síntese de aminoácidos, proteínas, carboidratos, nucleotídeos e clorofilas, que possuem funções básicas celulares (TAIZ *et al.*, 2017). No caso dos compostos

fenólicos, a eritrose-4-fosfato, fosfoenolpiruvato e acetil-CoA atuam como precursores para a formação de seus esqueletos (DIAS *et al.*, 2016). A fenilalanina amônia liase (PAL) e a tirosina amônia liase (TAL) são enzimas-chave das rotas de síntese dos compostos fenólicos e conectam o metabolismo primário ao secundário, mediando o fluxo de carbono entre eles (BARROS; DIXON, 2020; YAN *et al.*, 2013). Contudo, vale ressaltar que estudos com a TAL são mais escassos do que com a PAL (KHAN; PRITHIVIRAJ; SMITH, 2003).

O metabolismo vegetal pode ser influenciado pela variação genética, condições ambientais e práticas de cultivo (BAGHALIAN *et al.*, 2008; SALEHI SHANJANI *et al.*, 2010). As alterações metabólicas visam à garantia da sobrevivência das plantas (POORTER; NAGEL, 2000). Com isso, a síntese de compostos secundários pode ser alterada em decorrência das variações sazonais e das características geográficas (LEE; DING, 2016). Desta maneira, a fotossíntese, o comportamento estomático, a mobilização de reservas e o crescimento vegetal podem ser alterados pelo regime de chuvas, radiação e temperatura, acarretando assim em alterações no metabolismo secundário (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

A influência sazonal pode ser verificada pelo aumento nas trocas gasosas dos vegetais em meses com maior disponibilidade hídrica (DA SILVA RIBEIRO *et al.*, 2018). A produção de carboidratos não-estruturais, assim como a atividade das enzimas sacarolíticas e o teor de aminoácidos são responsivos às mudanças sazonais e estão diretamente relacionados com o provimento de carbono e nitrogênio para a síntese de compostos fenólicos (RAMÍREZ-BRIONES *et al.*, 2017; TASSONI *et al.*, 2019). Além disso, o padrão de alocação de carbono entre raízes e partes aéreas pode variar em resposta às variações ambientais, mas também depende das características de cada espécie (FURZE, 2018). No que se refere à resposta contra os estresses decorrentes das alterações ambientais, também há variação na produção e na atividade antioxidante dos compostos fenólicos totais produzidos pelas plantas, principalmente no verão (BOUTAKIOUT *et al.*, 2018; YEDDES *et al.*, 2019).

Diante da influência do ambiente sobre a produção de metabólitos secundários, juntamente com o interesse comercial de compostos produzidos por *Garcinia brasiliensis* e poucos estudos envolvendo as folhas, é necessário compreender a variação na produção de metabólitos secundários ao longo do ano para direcionar a melhor época de obtenção dos compostos de interesse em folhas. Um estudo verificou o padrão de variação na

produção dos metabólitos em folhas de *Thalassia testudinum* e forneceu informações relevantes acerca da melhor época de colheita para fins biotecnológicos ou industriais (HERNÁNDEZ *et al.*, 2016). Assim, surge a hipótese de que as características fisiológicas de *G. brasiliensis* sofrem influência dos meses do ano e, conseqüentemente, afetarão a dinâmica da produção de metabólitos secundários produzidos pelas folhas. Neste sentido, o presente trabalho objetivou identificar a influência sazonal nas características fisiológicas, bioquímicas e na produção de compostos fenólicos de interesse em folhas de *Garcinia brasiliensis*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal e desenho experimental

O experimento foi realizado na zona rural da cidade de Alfenas, Minas Gerais, Brasil (21°20'03.0"S 45°58'19.5"W). O clima do município é caracterizado como Cwa segundo Köppen e Geiger, com temperatura média anual de 20.2 °C e chuvas geralmente concentradas no verão.

Foram analisadas quatro plantas homogêneas de *Garcinia brasiliensis* Mart. (Clusiaceae) de uma população conhecida com aproximadamente seis anos de idade, em uma propriedade particular (Figura S1). A identificação da espécie foi realizada por comparação taxonômica com o material presente no herbário UALF do Instituto de Ciência da Natureza (ICN) da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), depositado sob número 2566.

As plantas foram avaliadas no decorrer de um ano, com quatro análises correspondentes aos meses de maio (outono), agosto (inverno), novembro (primavera) e fevereiro (verão), meses correspondentes ao meio de cada estação do ano. Em cada mês obteve-se o resultado da média das avaliações em quatro posições da copa: Norte, Sul, Leste e Oeste. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em que foram utilizadas quatro plantas de *Garcinia brasiliensis*, ao longo de quatro tempos.

2.2 Caracterização das condições experimentais

As plantas foram amostradas em seu ambiente natural de cultivo e, por isso, não foram realizadas adubações ou práticas de irrigação durante o período experimental.

O solo do local é do tipo latossolo vermelho distrófico com as seguintes características químicas e físicas: pH= 5,7; MO= 16,8 g dm⁻³; C total= 10 g dm⁻³; P= 5 mg dm⁻³; K= 2 mmol dm⁻³; Ca= 19 mmol dm⁻³; Mg= 5 mmol dm⁻³; HAl= 17 mmol dm⁻³; Al= 0,5 mmol dm⁻³; SB= 26 mmol dm⁻³; CTC= 43 mmol dm⁻³; V%= 55%; B= 0,2 mg dm⁻³; Cu= 3 mg dm⁻³; Fe= 10 mg dm⁻³; Mn= 3 mg dm⁻³; Zn= 1 mg dm⁻³; S= 7 mg dm⁻³; argila= 246 g kg⁻¹; silte= 257 g kg⁻¹; areia= 497 g kg⁻¹.

A análise mineral de folhas das plantas mostrou o seguinte perfil de nutrientes: N= 13 g kg⁻¹; P= 0,8 g kg⁻¹; K= 9 g kg⁻¹; Ca= 9 g kg⁻¹; Mg= 1 g kg⁻¹; S= 2 g kg⁻¹; B= 78 mg kg⁻¹; Cu= 6 mg kg⁻¹; Mn= 534 mg kg⁻¹; Zn= 39 mg kg⁻¹; Fe= 90 mg kg⁻¹.

A precipitação registrada foi de 86 mm em maio; 67 mm em agosto; 249 mm em novembro e 174 mm em fevereiro. A temperatura média foi de 18 °C em maio; 18 °C em agosto; 22 °C em novembro; 23 °C em fevereiro. A radiação incidente foi de 862 W m⁻² em maio; 343 W m⁻² em agosto; 773 W m⁻² em novembro e 862 W m⁻² em novembro.

2.3 Avaliações fisiológicas

A taxa fotossintética líquida (An) foi avaliada em duas folhas completamente expandidas em cada um dos quatro pontos da copa (Norte, Sul, Leste e Oeste). Os ramos cujas folhas foram utilizadas para as análises foram padronizados no terço médio da copa e marcados para que as mesmas folhas fossem amostradas ao longo dos meses analisados. An foi medida por um analisador de gases por infravermelho (IRGA – Infrared Gas Analyzer), modelo LI 6400 XT (LI-COR, Lincoln, NE, EUA). As medidas foram realizadas entre 09:00 e 11:00h, sob radiação fotossinteticamente ativa artificial (RFA) de 1200 μmol fótons m⁻² s⁻¹ e a temperatura do bloco não foi controlada em nível da folha.

O potencial hídrico foliar ao meio-dia (Ψ_{md}) foi medido em duas folhas completamente expandidas do terço médio da copa nas posições norte e sul. O Ψ_{md} foi avaliado com uma bomba de pressão tipo Scholander (Soil Moisture Equipment Corp., Model SEC-3015G2, Santa Barbara CA, USA).

2.4 Avaliações bioquímicas

O material vegetal foi composto por folhas completamente expandidas do terço médio e presentes na porção mais externa da copa. Todas as coletas foram realizadas no início da manhã, com temperatura amena e ausência de chuvas. Para a atividade enzimática utilizou-se massa fresca, em que as amostras foram coletadas com nitrogênio líquido e armazenadas em freezer -80. Para o restante das análises utilizou-se material vegetal seco em estufa de circulação forçada de ar até peso constante e posteriormente triturado em moinho tipo Wiley.

2.4.1 Quantificação de macro e micromoléculas

A extração dos carboidratos, aminoácidos e proteínas foi realizada com 200 mg de massa seca de folhas que foram homogeneizadas em 5 mL de MCW (3 mL de metanol; 1,25 mL de clorofórmio e 0,75 mL de água). A mistura foi deixada em contato por 24 horas e, em seguida, procedeu-se à centrifugação a 1300 rpm por 30 minutos. Para extração do amido, o *pellet* da extração anterior foi ressuspendido com 1,5 mL de ácido perclórico 30% (RABÊLO *et al.*, 2019). Após 24 horas, a mistura foi centrifugada a 1300 rpm por 30 min. A quantificação de amido foi realizada pelo método da antrona, com base na curva-padrão de glicose (MILLER, 1959).

Para a quantificação de aminoácidos foi utilizado o método da ninhidrina (YEMM; COCKING; RICKETTS, 1955). A concentração de proteína solúvel total foi determinada em espectrofotômetro a 595 nm, como descrito por Bradford (1976) utilizando a albumina de soro bovino (BSA) como padrão. Os açúcares solúveis totais foram determinados pelo método da antrona, com base na curva-padrão de glicose (MILLER, 1959). Os açúcares redutores foram quantificados pelo método do ácido dinitrossalicílico (MILLER, 1959).

2.4.2 Quantificação de compostos fenólicos e flavonoides totais

Para a extração de compostos fenólicos e flavonoides, 500 mg de massa seca foi macerada em 4 mL de etanol absoluto, deixado em overnight e na sequência foi centrifugado a 4000 rpm à 20 °C por 30 minutos, onde se coletou o sobrenadante. A quantificação de compostos fenólicos foi realizada de acordo com (AINSWORTH; GILLESPIE, 2007) e a leitura no espectrofotômetro foi feita a 720 nm. A quantificação

de flavonoides foi realizada com base na curva padrão de quercetina, com leituras a 415 nm (KOO; KUN, 1997).

2.4.2.1 Determinação de compostos fenólicos isolados em extratos de folhas

Foram pesados 10 mg de massa seca de folhas de *G. brasiliensis*. Utilizou-se como eluentes o metanol ou o hexano na concentração de 10 mg/mL⁻¹ em tubos de centrifugação de massa conhecida. As amostras foram centrifugadas por 30 min a 14000 rpm. O sobrenadante foi coletado e os tubos foram deixados em capela de exaustão até a secagem.

Os compostos fenólicos isolados foram identificados com base no tempo de retenção e no espectro de absorção, tendo como base compostos de *Garcinia brasiliensis* previamente isolados e caracterizados, tais como: no extrato metanólico - 1,3,6,7-tetrahydroxyxanthone (Noratiriol), Moreloflavona (Fukugetina); Moreloflavona-7-O-β-D-Glycosyl (fukugeside) (GONTIJO *et al.*, 2012); e no extrato hexânico – 7-Epiclusianona (SANTA-CECÍLIA *et al.*, 2011b) (Figura 1).

A análise dos compostos foi efetuada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) em um cromatógrafo Shimadzu LC-100. Foram construídas curvas de calibração com os padrões de moléculas isoladas e identificadas previamente de acordo com os autores descritos anteriormente.

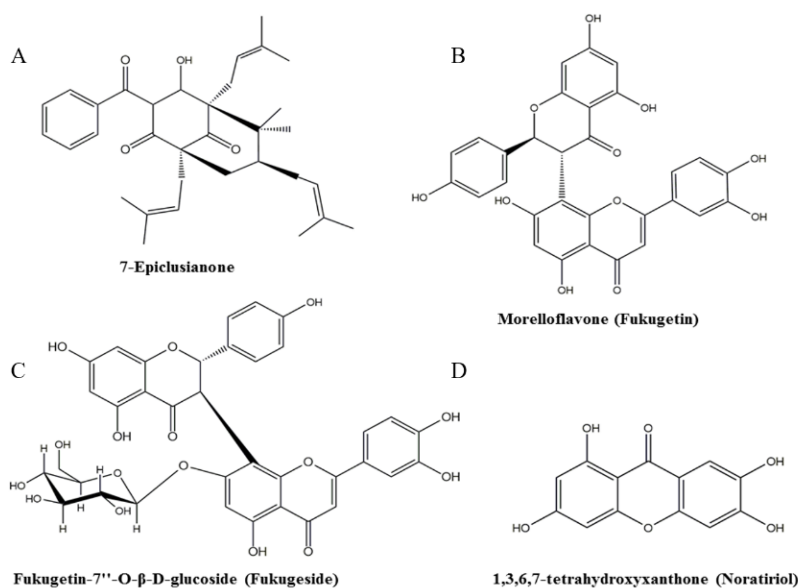


Figura 1. Estrutura química dos compostos isolados quantificados em extratos foliares de *G. brasiliensis*. A: 7-Epiclusianona, B: Moreloflavona (Fukugetina), C:

Moreloflavona-7-O- β -D-Glycosyl (fukugeside) e D: - 1,3,6,7-tetrahydroxyxanthone (Noratiriol).

Fonte: Pubchem (2020)

2.4.3 Atividade da fenilalanina amônia liase (PAL, EC 4.3.1.5) e tirosina amônia liase (TAL, EC 4.3.1)

Para a extração de fenilalanina amônia liase (PAL) e tirosina amônia liase (TAL), 300mg de matéria fresca foram maceradas em nitrogênio líquido juntamente com tampão fosfato de sódio a 50 mM e pH 6,5. A incubação de PAL e TAL foram feitas segundo (MEHTA; BHAVNARAYANA, 1981). O coeficiente de extinção molar para o cálculo da atividade da PAL foi 20,1 mmol cm⁻¹ e para a TAL foi 15 mmol cm⁻¹ (KALGHATGI; RAO, 1975).

2.5 Testes histoquímicos

Para a verificação da presença de amido e compostos fenólicos nas folhas foram realizadas secções transversais de material fresco de folha que foram tratadas com: solução aquosa de cloreto férrico a 10% para marcação de compostos fenólicos (Johansen 1940) e Solução de Lugol (iodo + iodeto de potássio) para marcação de amido (Johansen 1940). As lâminas temporárias foram montadas em glicerina e os controles para cada teste seguiram as indicações do respectivo autor. Cortes corados com astrablau (solução de safranina e azul de astra) também foram montados em lâmina para referenciar as principais estruturas e tecidos.

2.6 Análise dos dados

Foram calculadas as médias e o erro padrão da média de 16 repetições para cada mês de análise. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$). A correlação entre as variáveis do experimento foi avaliada por correlação de Pearson ($p \leq 0.05$).

3 RESULTADOS

A taxa fotossintética líquida foi maior no mês de novembro (Tabela 1), seguido de maio e atingiu os menores valores nos meses de agosto e fevereiro que apresentaram valores semelhantes. O potencial hídrico também foi maior em novembro (Tabela 1) não ocorrendo diferenças entre os meses maio, agosto e fevereiro.

Tabela 1: Taxa fotossintética líquida – An ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e potencial hídrico midday - Ψ_{md} (MPa) de plantas de *Garcinia brasiliensis* ao longo do ano, nos meses de maio, agosto, novembro e fevereiro.

Meses	An	Erro padrão	Ψ_{md}	Erro padrão
Maio	7.92 b	0.22	-1.69 b	0.08
Agosto	6.35 c	0.24	-1.69 b	0.08
Novembro	9.05 a	0.30	-1.35 a	0.07
Fevereiro	6.32 c	0.24	-1.69 b	0.08

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Erro padrão da média n=16 para An e n=8 para Ψ_{md}

Fonte: Do autor (2020)

O conteúdo de açúcares redutores (Figura 2 A) e de açúcares solúveis totais (Figura 2 B) foi maior no mês de novembro e não se diferiu entre os meses de maio, agosto e fevereiro. O teor de amido (Figura 2 C), apresentou um maior resultado em maio, e foi diminuindo gradativamente ao longo dos meses sendo que em fevereiro atingiu o menor valor. Quanto às proteínas (Figura 2 D), o conteúdo foi maior nos meses de agosto e novembro. Os aminoácidos (Figura 2 E) não apresentaram diferenças estatísticas em seu conteúdo ao longo dos meses analisados.

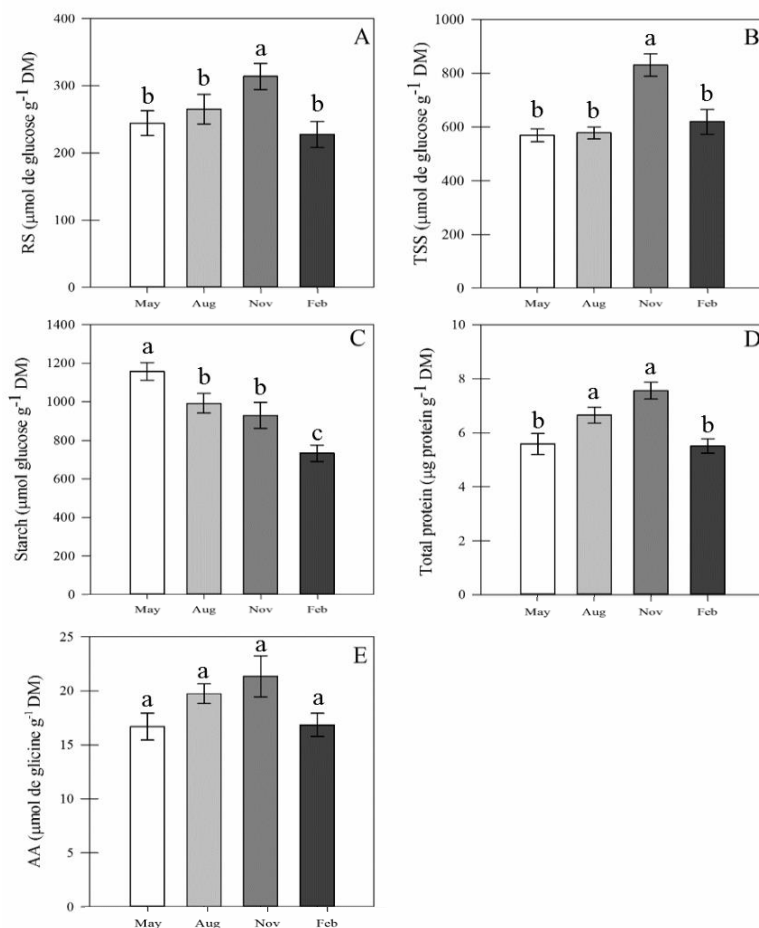


Figura 2- Açúcares redutores – RS (A), açúcares solúveis totais - TSS (B), amido (C), proteínas totais (D) e aminoácidos – AA (E) em folhas de *Garcinia brasiliensis* ao longo do ano, nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$). As barras correspondem ao erro padrão da média ($n=16$).

Fonte: Do autor (2020)

A atividade da PAL (Figura 3 A), da TAL (Figura 3 B) e o conteúdo de compostos fenólicos totais (Figura 3 D) apresentaram maiores valores no mês de fevereiro, enquanto não houve diferença para a concentração de flavonoides (Figura 3 C) entre os meses analisados.

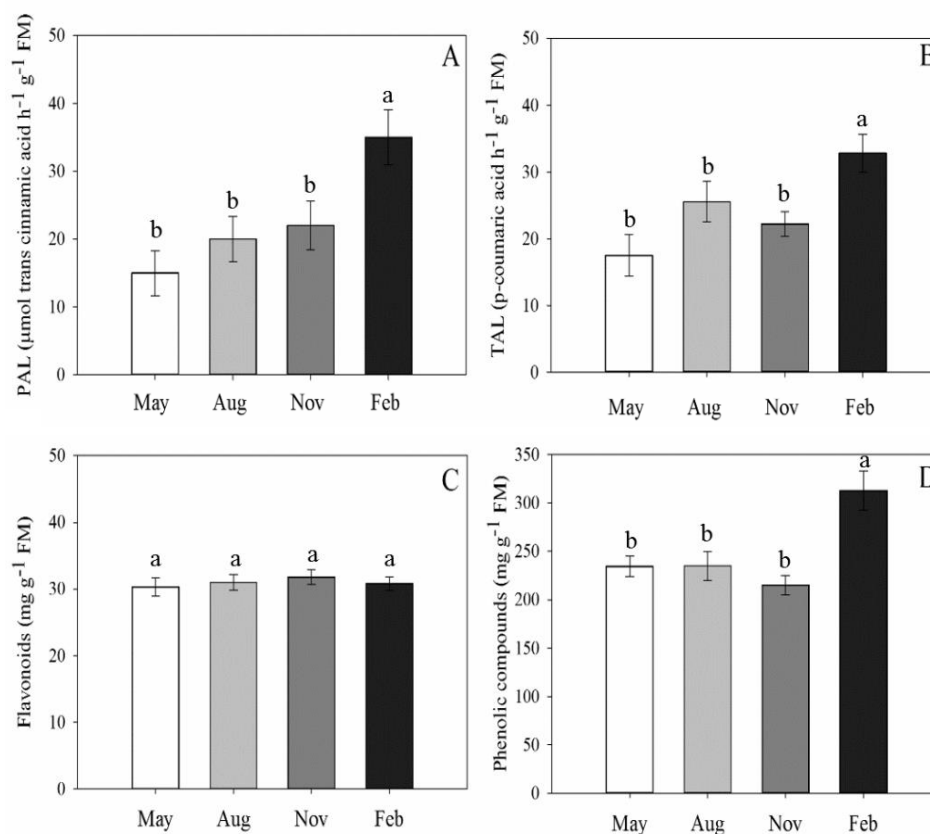


Figura 3- Atividade da fenilalanina amônia liase – PAL (A), tirosina amônia liase – TAL (B), conteúdo de flavonóides (C) e de compostos fenólicos totais (D) em folhas de *Garcinia brasiliensis* ao longo do ano, nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$). As barras correspondem ao erro padrão da média (n=16).

Fonte: Do autor (2020)

Não foram encontrados nos extratos das folhas os compostos 1,3,6,7-tetrahydroxyxanthone (noratiriol); Moreloflavona-7-O- β -D-glycosyl (fukugeside) e 7-Epiclusianona. A quantificação de Moreloflavona (fukugetina) no extrato metanólico de folhas de *Garcinia brasiliensis* (Figura 4) mostrou que maior a produção ocorreu no mês de novembro, não se diferenciando entre os demais meses de análises.

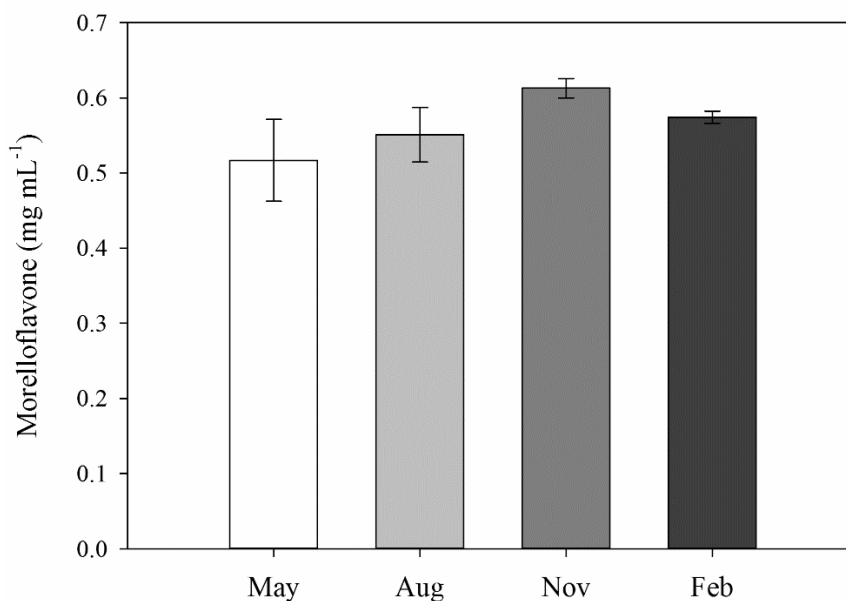


Figura 4: Quantificação de Morelloflavona no extrato metanólico de folhas de *Garcinia brasiliensis* ao longo do ano, nos meses de maio (May), agosto (Aug), novembro (Nov) e fevereiro (Feb). As barras correspondem ao erro padrão da média (n=4).

Fonte: Do autor (2020)

As análises de correlação das variáveis deste estudo (Tabela 2) mostraram que a taxa fotossintética apresentou correlação direta com açúcares redutores, açúcares solúveis totais e proteínas, assim como correlação inversa com a atividade da PAL e TAL. Os açúcares redutores e solúveis totais demonstraram relação direta com a taxa fotossintética e com as proteínas. O amido teve correlação inversa com as proteínas, compostos fenólicos e a atividade da PAL. As proteínas demonstraram correlação direta com a taxa fotossintética, açúcares redutores, açúcares solúveis totais e aminoácidos e uma correlação inversa com amido. Os aminoácidos exibiram correlação direta com as proteínas. Os compostos fenólicos apontaram correlação direta com PAL e TAL e uma correlação inversa com o amido. Os flavonoides não mostraram correlação com nenhum dos parâmetros analisados. A PAL demonstrou correlação inversa com a taxa fotossintética e amido, assim como correlação direta com TAL e com compostos fenólicos. A TAL exibiu correlação direta com a PAL e com os compostos fenólicos (Tabela 2).

Tabela 2: Correlação de Pearson entre as variáveis analisadas no experimento

		A	RS	TSS	Starch	PTN	AA	Phenol.	Flavon.	PAL	TAL
A	Pearson Corr.	1	0.2497*	0.4234*	0.1737	0.3206*	0.1907	-0.1767	-0.0082	-0.2899*	-0.2255*
	Significance	--	0.0465	0.0004	0.1697	0.0097	0.1310	0.1624	0.9484	0.0201	0.0730
RS	Pearson Corr.	0.2497*	1	0.2265	-0.0605	0.2604*	0.1887	0.0512	0.2361	-0.1458	-0.0123
	Significance	0.0465	--	0.0718	0.6348	0.0376	0.1352	0.6874	0.0602	0.2500	0.9229
TSS	Pearson Corr.	0.4234*	0.2265	1	0.0721	0.4656*	0.2406	-0.2010	0.2431	-0.1579	-0.2444
	Significance	0.0004	0.0718	--	0.5708	0.0001	0.0554	0.1111	0.0528	0.2126	0.0515
Starch	Pearson Corr.	0.1737	-0.0605	0.0721	1	-0.2946*	-0.1571	-0.3746*	0.0152	-0.3054*	-0.1787
	Significance	0.1697	0.6348	0.5708	--	0.0181	0.2149	0.0022	0.9045	0.0141	0.1576
PTN	Pearson Corr.	0.3206*	0.2604*	0.4656*	-0.2946*	1	0.3939*	-0.1464	0.0942	-0.0067	-0.1207
	Significance	0.0097	0.0376	0.0001	0.0181	--	0.0012	0.2483	0.4587	0.9579	0.3420
AA	Pearson Corr.	0.1907	0.1887	0.2406	-0.1571	0.3939*	1	0.1431	0.0141	-0.1873	-0.1825
	Significance	0.1310	0.1352	0.0554	0.2149	0.0012	--	0.2592	0.9115	0.1383	0.1488
Phenol.	Pearson Corr.	-0.1767	0.0512	-0.2010	-0.3746*	-0.1464	0.1431	1	-0.0209	0.3080*	0.2841*
	Significance	0.1624	0.6874	0.1111	0.0022	0.2483	0.2592	--	0.8694	0.0132	0.0228
Flavon.	Pearson Corr.	-0.0082	0.2361	0.2431	0.0152	0.0942	0.0141	-0.0209	1	-0.1425	0.0362
	Significance	0.9484	0.0602	0.0528	0.9045	0.4587	0.9115	0.8694	--	0.2611	0.7761
PAL	Pearson Corr.	-0.2899*	-0.1458	-0.1579	-0.3054*	-0.0067	-0.1873	0.3080*	-0.1425	1	0.2558*
	Significance	0.0201	0.2500	0.2126	0.0141	0.9579	0.1383	0.0132	0.2611	--	0.0412
TAL	Pearson Corr.	-0.2255	-0.0123	-0.2444	-0.1787	-0.1207	-0.1825	0.2841*	0.0362	0.2558*	1
	Significance	0.0730	0.9229	0.05154	0.15762	0.3420	0.1488	0.0228	0.7761	0.0412	--

Correlações seguidas por asterisco são significativas ($p \leq 0.05$).

Fonte: Do autor (2020)

Os testes histoquímicos para compostos fenólicos na nervura central mostraram um feixe vascular em forma de semiarco fechado circundado por parênquima fundamental com células que possuem conteúdo denso próximo as fibras perivasculares, aos canais e as epidermes constituindo os idioblastos fenólicos (Figura 5ABC). Estes se coraram em preto ou marrom-esverdeado com cloreto férrico. No mesofilo (Figura 5DE) observou-se os mesmos idioblastos fenólicos sobre o Parênquima Clorofiliano Esponjoso e Epiderme. E nas células do Parênquima Clorofiliano Paliçádico foi identificado também em abundância os compostos fenólicos (Figura 5E).

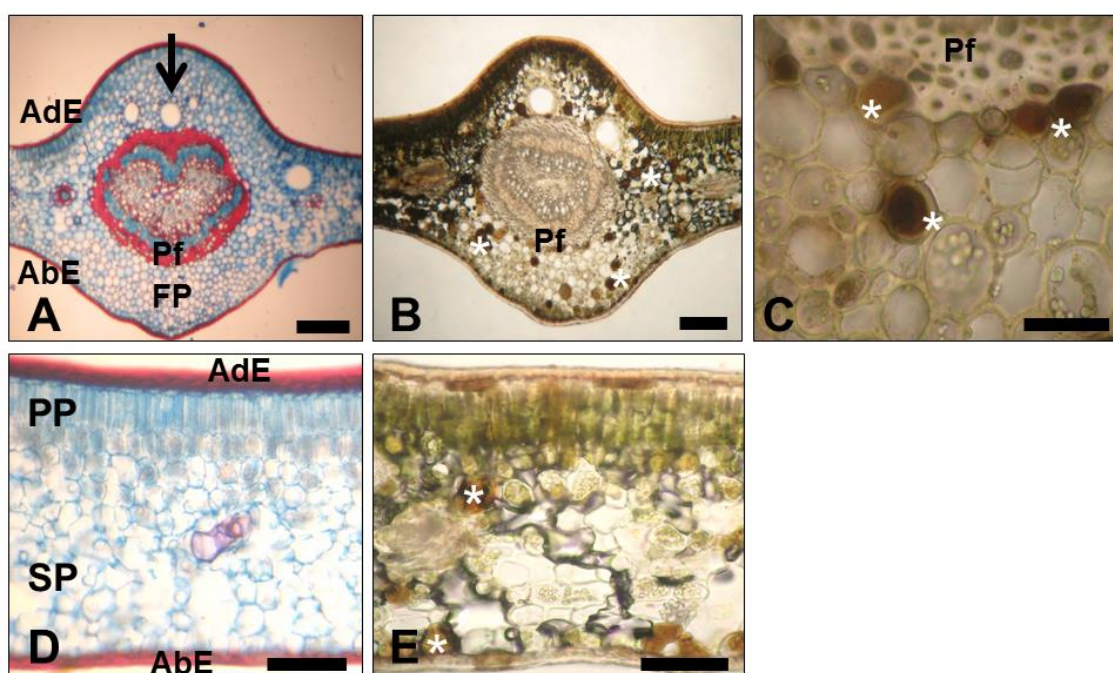


Figura 5- Secções transversais da nervura e limbo foliar de *Garcinia brasiliensis*. (A) nervura central corada com Astrablau; (B) nervura central corada com cloreto férrico; (C) Parênquima fundamental da nervura central evidenciado os idioblastos fenólicos; (D) limbo foliar corado com Astrablau; (E) limbo foliar corado com cloreto férrico. AdE – Epiderme Adaxial; AbE – Epiderme Abaxial; FP – Parênquima Fundamental; Pf – Fibras Perivasculares; PP – Parênquima Clorofiliano Paliçádico; SP – Parênquima Clorofiliano Esponjoso; seta preta indica Canal Secretor; asteriscos indicam idioblastos fenólicos. A barra corresponde a 100 µm.

Fonte: Do autor (2020)

O teste histoquímico para o amido evidenciou uma distribuição de grãos arroxeados com formatos esféricos e tamanhos variados por toda a nervura central em volta do feixe vascular, no parênquima medular e no parênquima fundamental (Figura 6

ABC). No mesofilo foram encontrados grãos de amido em toda a extensão do parênquima clorofiliano esponjoso (Figura 6 EF).

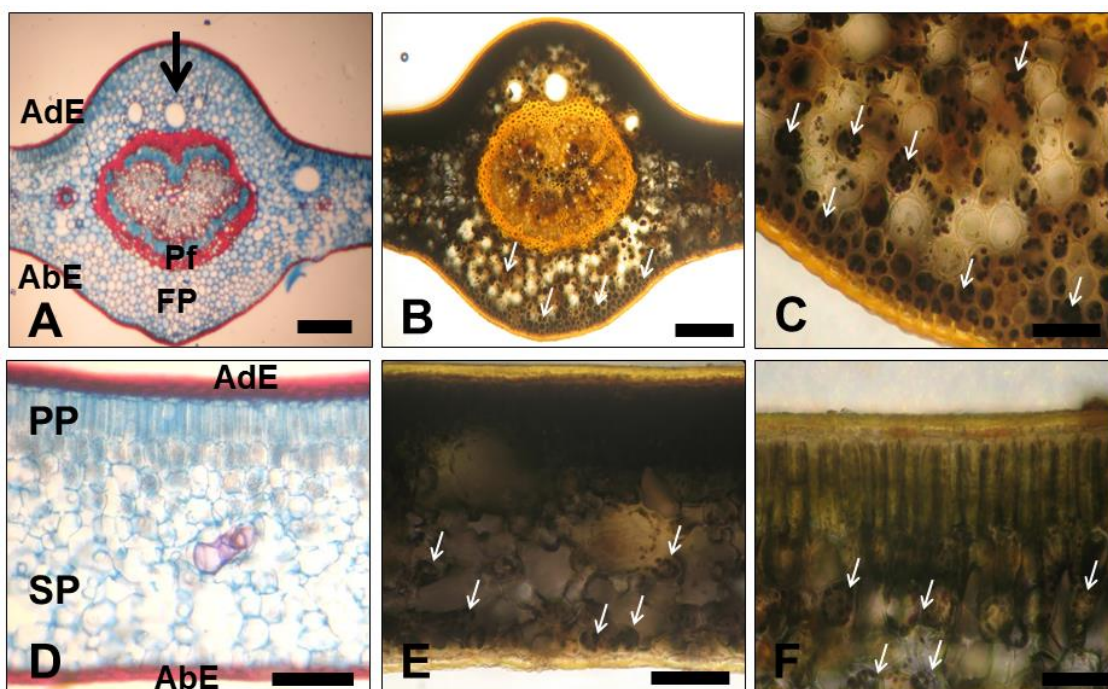


Figura 6- Secções transversais da nervura e limbo foliar de *Garcinia brasiliensis*. (A) nervura central corada com astrablau; (B) nervura central corada com lugol; (C) Parênquima fundamental da nervura central evidenciado os grãos de amido; (D) limbo foliar corado com Astrablau; (E) limbo foliar corado com lugol. AdE – Epiderme Adaxial; AbE – Epiderme Abaxial; FP – Parênquima Fundamental; Pf – Fibras Perivasculares; PP – Parênquima Clorofiliano Paliçádico; SP – Parênquima Clorofiliano Esponjoso; seta preta indica Canal Secretor; setas brancas indicam grãos de amido. A barra corresponde a 100 μ m.

Fonte: Do autor (2020)

4 DISCUSSÃO

A caracterização climática permitiu observar que os meses de novembro e fevereiro apresentaram maiores temperaturas e pluviosidade sendo então meses mais quentes e úmidos. Os meses de maio e agosto são meses mais frios e secos com menores temperaturas e pluviosidade.

A observação nos padrões de variação das características ecofisiológicas de *G. brasiliensis* mostrou uma planta com maior atividade metabólica primária no mês de novembro, quando houve maior produção de Moreloflavona. No entanto, a maior produção de compostos fenólicos ocorreu no mês de fevereiro, enquanto a quantidade de flavonoides totais não variou ao longo dos meses analisados. A biossíntese de compostos fenólicos pode ser influenciada por inúmeros estresses bióticos e abióticos (JAHANGIR

et al., 2009). O estresse térmico por altas temperaturas, por exemplo, induz a produção de compostos fenólicos (COMMISSO *et al.*, 2016; WAHID *et al.*, 2007; YEDDES *et al.*, 2019). Essa variação no teor de fenólicos nas folhas ao longo dos meses pode ser um fator importante na aclimação da planta às modificações do ambiente (YEDDES *et al.*, 2019), sendo responsável pela ação antioxidante para proteção das folhas em épocas de elevada radiação fotossinteticamente ativa (BOUTAKIOUT *et al.*, 2018), conforme observado no mês de fevereiro.

As enzimas diretamente envolvidas na produção desses compostos fenólicos são a PAL e a TAL, que atuam como enzimas-chave na etapa de entrada da via dos fenilpropanóides (WAKABAYASHI; HOSON; KAMISAKA, 1997). A atividade da PAL e TAL geralmente está associada à lignificação, fornecendo um maior suporte estrutural e até mesmo resistência contra ataques biológicos aos tecidos vegetais (BARROS; DIXON, 2020). Além disso, também atuam na síntese de fenilpropanóides como uma resposta antioxidante à ocorrência de estresses (DIXON; PAIVA, 1995).

Em *G. brasiliensis*, a maior atividade de PAL e TAL ocorreu no mês de fevereiro (Figura 3 A), típico do verão brasileiro. Isso pode ser explicado pela alta temperatura combinada com os altos valores de radiação incidente na estação mais quente do ano, que induzem à produção dos compostos fenólicos para amenizar os danos causados pelo estresse térmico (BARROS; DIXON, 2020). A maior concentração de compostos fenólicos pode estar relacionada a uma potencial ação antioxidante nos meses com maior temperatura, uma vez que os compostos fenólicos formam ligações covalentes com as proteínas possibilitando, assim, uma proteção contra o estresse térmico que eleva a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (BOUTAKIOUT *et al.*, 2018).

Os flavonoides são compostos fenólicos cuja função tem sido mais relacionada com a defesa de plantas mais jovens do que de plantas maduras (GHASEMZADEH *et al.*, 2016; VALARES MASA *et al.*, 2016). A biossíntese desses compostos permaneceu constante, independente dos meses analisados. Um resultado parecido foi encontrado em *Rosmarinus officinalis* L. coletadas em treze regiões da Tunísia nas quatro estações do ano. As folhas dessa espécie não demonstraram variações significativas no conteúdo de flavonoides, porém, o conteúdo de fenólicos totais aumentou na estação mais quente do ano como em nosso trabalho, influenciado pelas altas temperaturas, altos níveis de radiação UV, pluviosidade e umidade (YEDDES *et al.*, 2019).

A produção de compostos fenólicos apresentou uma correlação direta com a taxa fotossintética, RS, TSS, proteínas e AA. Desta maneira, as alterações metabólicas resultaram de respostas ecofisiológicas às variações climáticas ao longo dos meses de análises. A maior atividade fotossintética da planta em novembro possibilitou a atuação mais efetiva do metabolismo, principalmente por se tratar da primavera, estação em que as plantas se encontram em metabolismo acelerado (LAMBERS; PONS; III, 2009) para possibilitar a rebrota, assim como o início do processo reprodutivo. Neste sentido, provavelmente, toda a produção metabólica primária estava mais voltada para a manutenção dos drenos ativos da planta.

Os carboidratos são os principais reguladores do processo fisiológico e do ajuste das plantas ao estresse ambiental (DIETZE *et al.*, 2014). Existem diferenças quanto à produção de carboidratos como respostas adaptativas às variações na pluviosidade dos meses do ano. A redução de carboidratos e amido nos meses mais chuvosos pode estar ligada ao crescimento das plantas, uma vez que fornece umidade e nutrientes para a produção de novos drenos. Os meses mais secos acumulam mais amido indicando que os investimentos em carbono são mais limitados pelo ambiente e não por métodos de aquisição nesses períodos (LIU *et al.*, 2018).

Em mudas de *G. brasiliensis* em diferentes umidades do solo e sob condições de casa de vegetação a menor disponibilidade hídrica do solo foi relacionada com a menor taxa fotossintética (A_n) e maior produção de amido (DOS SANTOS GOUVÊA; MARENCO, 2018), corroborando com nosso trabalho em condições de campo na estação mais seca (maio). Essa semelhança de resposta sugere que as plantas dessa espécie garantem o mesmo metabolismo tanto em condições controladas como não controladas. Os açúcares solúveis totais têm função de contribuir para o ajuste osmótico e servem como sinalizadores para mudanças do ambiente. Por outro lado, a maior concentração de açúcares no mês mais chuvoso pode ser resultado da maior fotossíntese e da conversão de carboidratos em açúcar (LI *et al.*, 2016).

Compostos intermediários de rotas do metabolismo primário, tais como eritrose-4-fosfato, fosfoenolpiruvato e acetil-CoA atuam como precursores para a síntese de esqueletos de compostos fenólicos (DIAS *et al.*, 2016). Os compostos fenólicos são sintetizados pela rota dos fenilpropanóides por meio da via do ácido chiquímico e a via do ácido malônico (DE LA ROSA *et al.*, 2019).

A via do ácido chiquímico é responsável pela produção dos precursores da maioria dos compostos fenólicos da planta e representa a ligação entre metabolismo primário e secundário. A fenilalanina e a tirosina são os precursores da síntese dos compostos fenólicos (WIDHALM *et al.*, 2015). Essa conversão é catalisada principalmente pela PAL, uma enzima que separa os metabolismos primário e secundário, atuando como ponto de regulação entre eles. A atividade da PAL é potencializada diante de variações ambientais, levando ao aumento na síntese de compostos fenólicos. É uma enzima altamente regulada, envolvendo diferentes genes e fatores de transcrição (TAIZ *et al.*, 2017). A correlação entre A_N e atividade de PAL, TAL e fenólicos foi negativa provavelmente devido ao fato de que primeiramente a planta se prepara na primavera para a produção de esqueletos de carbono que suportem as alterações necessárias para lidar com os estresses advindos da estação mais quente do ano.

O metabolismo fenilpropanóide leva à produção de inúmeras moléculas como ácidos hidroxicinâmicos, ácidos hidroxibenzóicos, flavonóides e ligninas (PETERSEN; HANS; MATERN, 2018). Em *G. brasiliensis* não foi observada variação no conteúdo total de flavonoides no decorrer dos meses analisados, no entanto, a quantidade de Fukugetina produzida sofreu influência da sazonalidade. A Moreloflavona (Fukugetina) é um dímero de flavonoides, ou seja, um biflavonoide (composto polifenólico) (SUZART *et al.*, 2007). Os flavonoides podem pertencer às classes das antocianinas, flavonas, flavonóis e isoflavonas (PETERSEN; HANS; MATERN, 2018) e, por isso, a Fukugetina pertence a uma classe desses compostos, não tendo contribuído para a alteração da quantidade de flavonoides totais.

A Moreloflavona foi o único composto encontrado no extrato metanólico de folhas de *G. brasiliensis* nos meses de maio, agosto, novembro e fevereiro. Entretanto, no mês de novembro que correspondeu ao meio da primavera no Brasil, houve maior quantidade de Moreloflavona. Essa informação é importante para o direcionamento de coleta visando à obtenção desse composto em escala comercial já que esta substância possui um alto potencial farmacológico.

É interessante notar que o aumento de Moreloflavona não acompanhou o aumento de compostos fenólicos e nem do teor flavonoides o que mostra a complexidade do metabolismo secundário. Uma maior produção desse biflavonoide em novembro poderia ser justificada por maiores temperaturas e radiação que são fatores ambientais que podem elevar a produção de radicais livres como os EROs já que os flavonoides também atuam

como antioxidantes tanto em compartimentos celulares lipofílicos como hidrofílicos, inativando os radicais livres (ARORA; NAIR; STRASBURG, 1998). Neste sentido, a Moreloflavona possui a capacidade de doar átomos de hidrogênio inibindo assim as reações em cadeia provocadas pelos radicais livres, demonstrando alta atividade antioxidante *in vitro* (GONTIJO *et al.*, 2012).

No que se refere à obtenção de Moreloflavona em *G. brasiliensis*, há descrições de isolamento em extratos polares tanto para folhas quanto para frutos dessa espécie (DA SILVA *et al.*, 2020; NAVES *et al.*, 2019). No caso específico de folhas, há somente um estudo anterior, em que essa substância foi obtida por meio de extração aquosa (NAVES *et al.*, 2019).

Outros derivados fenólicos polares de *G. brasiliensis* não foram encontrados no extrato metanólico de folhas, como a Norathyriol e a Fukugeside. Estas duas substâncias também possuem atividades antioxidantes, anti-diabetes e anti-cancer (DA SILVA *et al.*, 2020; DING *et al.*, 2014; GONTIJO *et al.*, 2012). A Fukugeside que é um biflavonoide muito similar a Moreloflavona se diferenciando por conter uma glicose ligada ao anel biflavonoide e foi encontrado no fruto (epicarpo) (DA SILVA *et al.*, 2020) e nas folhas de *G. brasiliensis* (NAVES *et al.*, 2019) o que não corroborou com nossos trabalhos. Vale ressaltar que esses autores coletaram as folhas em uma região diferente deste trabalho. A Norathyriol é uma xantona, e seu isolamento foi verificado até hoje apenas nos frutos de *G. brasiliensis* utilizando solventes com polaridades médias (acetato de etila) (DA SILVA *et al.*, 2020).

A 7-epiclusionona é geralmente extraída com solventes mais apolares (DA SILVA *et al.*, 2020). Ela é um derivado fenólico com atividade antitumoral, e pertencente à família das benzofenonas polipreniladas e parece ser uma substância restrita aos frutos e sementes de *G. brasiliensis* (CARVALHO-SILVA *et al.*, 2012; MOREIRA *et al.*, 2017), pois não foi encontrada nas folhas nem no extrato mais apolar (hexânico) e nem no mais polar (metanólico).

A distribuição nos tecidos de amido e compostos fenólicos pela folha corroborou com estudos da mesma espécie (SANTA-CECÍLIA *et al.*, 2013) e outras da mesma família Clusiaceae (DA SILVA *et al.*, 2017). Os compostos fenólicos encontrados na epiderme são armazenados nos vacúolos, mas espalhados nos tecidos foliares, também foram encontrados idioblastos. Esses são células que diferem marcadamente em forma, tamanho ou conteúdo de células vizinhas (CRANG; LYONS-SOBASKI; WISE, 2018).

Os compostos fenólicos nessas células secretoras podem estar localizados dentro de um vacúolo central grande ou dentro numerosos glóbulos de vários tamanhos no citoplasma (CASTRO; DEMARCO, 2008; CRANG; LYONS-SOBASKI; WISE, 2018).

5 CONCLUSÃO

A maior fotossíntese e produção de compostos primários ocorre no mês de novembro, enquanto a maior produção de compostos fenólicos acontece em fevereiro, mês com a maior precipitação e uma alta radiação. Os compostos fenólicos estão localizados de forma dispersa na nervura central e limbo em idioblastos. A produção de Moreloflavona é maior em novembro, indicando que a primavera, é a estação em regiões tropicais mais apropriada para a obtenção desta substância em folhas de *G. brasiliensis*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Código de Financiamento 001), à FAPEMIG e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ABE, Fumiko *et al.* Trypanocidal Constituents in Plants 3. Leaves of *Garcinia intermedia* and Heartwood of *Calophyllum brasiliense*. **Biological & Pharmaceutical Bulletin**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 141–143, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1248/bpb.27.141>
- ADAMS, Robert P. *et al.* Preliminary comparison of vetiver root essential oils from cleansed (bacteria- and fungus-free) versus non-cleansed (normal) vetiver plants. **Biochemical Systematics and Ecology**, [S. l.], v. 32, n. 12, p. 1137–1144, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2004.03.013>
- AINSWORTH, Elizabeth A.; GILLESPIE, Kelly M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. **Nature Protocols**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 875–877, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>
- ALAN, Sevim *et al.* Composition and anticandidal activity of the essential oil of *hypericum perforatum* L. **Asian Journal of Chemistry**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 1315–1320, 2010.
- ALENCAR, Ana Claudia; TÖLKE, Elisabeth; MAYER, Juliana. New perspectives on secretory structures in *Clusia* (Clusiaceae - Clusiod clade): production of latex or resins? [S. l.], 2019.
- AMARAL, Lúcio de Paula *et al.* Seasonal influence on the essential oil production of *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [S. l.], v. 58, n. 1, p. 12–21, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201502462>
- ARAÚJO, Fernanda de Oliveira *et al.* Bacupari (*Garcinia brasiliensis*) extract modulates intestinal microbiota and reduces oxidative stress and inflammation in obese rats. **Food Research International**, [S. l.], v. 122, n. December 2018, p. 199–208, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.012>
- ARORA, Arti; NAIR, Muraleedharan G.; STRASBURG, Gale M. Structure-activity relationships for antioxidant activities of a series of flavonoids in a liposomal system. **Free Radical Biology and Medicine**, [S. l.], v. 24, n. 9, p. 1355–1363, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(97\)00458-9](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(97)00458-9)
- BAGHALIAN, Kambiz *et al.* Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 116, n. 4, p. 437–441, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.02.014>
- BAHAMONDE, Héctor A.; GIL, Luis; FERNÁNDEZ, Victoria. Surface properties and permeability to calcium chloride of *Fagus sylvatica* and *Quercus petraea* leaves of different canopy heights. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 9, n. April, p. 1–13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00494>
- BAKKALI, F. *et al.* Biological effects of essential oils - A review. **Food and Chemical Toxicology**, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- BALDWIN, Ian T. Plant volatiles. **Current Biology**, [S. l.], v. 20, n. 9, p. 1–6, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.02.052>
- BARROS, Jaime; DIXON, Richard A. Plant Phenylalanine/Tyrosine Ammonia-lyases. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 66–79, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.09.011>
- BOONSRI, Sompong *et al.* Antibacterial and cytotoxic xanthenes from the roots of

- Cratoxylum formosum. **Phytochemistry**, [S. l.], v. 67, n. 7, p. 723–727, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.01.007>
- BOSABALIDIS, Artemios M.; KOFIDIS, George. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. **Plant Science**, [S. l.], v. 163, n. 2, p. 375–379, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00135-8)
- BOUTAKIOUT, A. *et al.* Effects of different harvesting seasons on antioxidant activity and phenolic content of prickly pear cladode juice. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 471–480, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.005>
- CAI, Min ling *et al.* Photosynthetic compensation of non-leaf organ stems of the invasive species *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski at low temperature. **Photosynthesis Research**, [S. l.], n. 0123456789, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-020-00748-5>
- CALIXTO, João B. Twenty-five years of research on medicinal plants in Latin America: A personal view. **Journal of Ethnopharmacology**, [S. l.], v. 100, n. 1–2, p. 131–134, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.06.004>
- CARVALHO-SILVA, Luciano Bruno *et al.* Antioxidant, cytotoxic and antimutagenic activities of 7-epi-clusianone obtained from pericarp of *Garcinia brasiliensis*. **Food Research International**, [S. l.], v. 48, n. 1, p. 180–186, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.003>
- CASTRO, Aline *et al.* Potent Schistosomicidal Constituents from *Garcinia brasiliensis*. **Planta Medica**, Stuttgart, v. 81, n. 09, p. 733–741, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1055/s-0035-1545927>
- CASTRO, Marilia De M.; DEMARCO, Diego. Phenolic compounds produced by secretory structures in plants: A brief review. **Natural Product Communications**, [S. l.], v. 3, n. 8, p. 1273–1284, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1934578x0800300809>
- CHANDRA, Mahesh *et al.* β -Selinene-Rich Essential Oils from the Parts of *Callicarpa macrophylla* and Their Antioxidant and Pharmacological Activities. **Medicines**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 52, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/medicines4030052>
- CHRISTENHUSZ, Maarten J. M.; BYNG, James W. The number of known plants species in the world and its annual increase. **Phytotaxa**, [S. l.], v. 261, n. 3, p. 201–217, 2016 a. Disponível em: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.261.3.1>
- CHRISTENHUSZ, Maarten J. M.; BYNG, James W. Phytotaxa. **Phytotaxa**, [S. l.], v. 261, n. 3, p. 201–217, 2016 b. Disponível em: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.261.3.1>
- CHUA, Lisa Y. W. *et al.* Influence of Drying Methods on the Antibacterial, Antioxidant and Essential Oil Volatile Composition of Herbs: a Review. **Food and Bioprocess Technology**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 450–476, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2227-x>
- COMMISSO, Mauro *et al.* Impact of phenylpropanoid compounds on heat stress tolerance in carrot cell cultures. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 7, n. September, p. 1–16, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01439>
- CORRÊA, Rodrigo S. *et al.* Lupeol. **Acta Crystallographica Section C: Crystal Structure Communications**, [S. l.], v. 65, n. 3, p. 97–99, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1107/S0108270109004910>
- CRANG, Richard; LYONS-SOBASKI, Sheila; WISE, Robert. **Plant Anatomy**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77315-5>
- DA SILVA, Claudinei A. *et al.* Evaluating four modes of extraction to analyze

- bioactive compounds in *Garcinia brasiliensis* (bacupari) by high-performance liquid chromatography diode-array detection (HPLC-DAD). **Natural Product Research**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1716344>
- DA SILVA, Luzimar Campos *et al.* *Clusia hilariana* and *Eugenia uniflora* as bioindicators of atmospheric pollutants emitted by an iron pelletizing factory in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 24, n. 36, p. 28026–28035, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0386-3>
- DA SILVA RIBEIRO, João Everthon *et al.* Seasonal variation in gas exchange by plants of *Erythroxylum simonis* Plowman. **Acta Botanica Brasilica**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 287–296, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0240>
- DAHAM, Saad S. *et al.* The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene β -caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna*. **Molecules**, [S. l.], v. 20, n. 7, p. 11808–11829, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules200711808>
- DAS, Essencial *et al.* Análise do efeito da sazonalidade sobre o ... ANÁLISE DO EFEITO DA SAZONALIDADE SOBRE O RENDIMENTO DO ÓLEO ANALYSIS OF THE SEASONALITY EFFECT ON THE ESSENTIAL OIL YIELD OF LEAVES OF *Nectandra grandiflora* Nees. [S. l.], p. 1065–1072, [s. d.].
- DE CERQUEIRA, Martins Dias *et al.* Variação sazonal da composição do óleo essencial de *Myrcia salzmannii* Berg. (Myrtaceae). **Química Nova**, [S. l.], v. 32, n. 6, p. 1544–1548, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000600035>
- DE KAUWE, Martin G. *et al.* Examining the evidence for decoupling between photosynthesis and transpiration during heat extremes. **Biogeosciences**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 903–916, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-16-903-2019>
- DE KRAKER, Jan Willem *et al.* (+)-Germacrene A biosynthesis - The committed step in the biosynthesis of bitter sesquiterpene lactones in chicory. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 117, n. 4, p. 1381–1392, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.117.4.1381>
- DE LA ROSA, Laura A. *et al.* **Phenolic Compounds**. [S. l.]: Elsevier Inc., 2019. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813278-4.00012-9>
- DE OLIVEIRA FERRAZ, Elza *et al.* Seasonality effects on chemical composition, antibacterial activity and essential oil yield of three species of *Nectandra*. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 13, n. 9, p. 1–13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204132>
- DIAS, Maria Inês *et al.* Exploring plant tissue culture to improve the production of phenolic compounds: A review. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 82, p. 9–22, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.016>
- DICKE, Marcel; BALDWIN, Ian T. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the “cry for help”. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 167–175, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.12.002>
- DIETZE, Michael C. *et al.* Nonstructural Carbon in Woody Plants. **Annual Review of Plant Biology**, [S. l.], v. 65, n. 1, p. 667–687, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040054>
- DING, Hanying *et al.* Norathyriol reverses obesity- and high-fat-diet-induced insulin resistance in mice through inhibition of PTP1B. **Diabetologia**, [S. l.], v. 57, n. 10, p. 2145–2154, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00125-014-3315-8>
- DIXON, R. A.; PAIVA, N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **Plant Cell**, [S. l.], v. 7, n. 7, p. 1085–1097, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1085>

- DOS SANTOS GOUVÊA, Paula Romenya; MARENCO, Ricardo Antonio. Is a reduction in stomatal conductance the main strategy of *Garcinia brasiliensis* (Clusiaceae) to deal with water stress? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 321–333, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40626-018-0127-0>
- FIGUEIREDO, Sônia Aparecida *et al.* In vitro and in vivo photoprotective/photochemopreventive potential of *Garcinia brasiliensis* epicarp extract. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S. l.], v. 131, p. 65–73, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.01.004>
- FRANCISCO, Jose; SIDNEY, Jose. Chemical investigation of the genus. **Journal of Natural Products**, [S. l.], v. 47, n. August 1983, p. 15–19, 1984.
- FRUTUOSO, Valber Da Silva *et al.* Analgesic and anti-inflammatory activity of the aqueous extract of *Rheedia longifolia* Planch & Triana. **Memorias do Instituto Oswaldo Cruz**, [S. l.], v. 102, n. 1, p. 91–96, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0074-02762007000100016>
- FURZE, Morgan E. Seasonal patterns of nonstructural carbohydrate reserves in four woody boreal species1. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, [S. l.], v. 145, n. 4, p. 332, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3159/torrey-d-18-00007.1>
- GARDEN, Tropical Botanical. **Diversity of Garcinia species in the Western Ghats: Phytochemical Perspective**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.25173/978-81-924674-5-0>
- GASPARETTO, Adriana *et al.* Seasonal variation in the chemical composition, antimicrobial and mutagenic potential of essential oils from *Piper cernuum*. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 95, p. 256–263, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.030>
- GHASEMZADEH, Ali *et al.* Variation in secondary metabolite production as well as antioxidant and antibacterial activities of *Zingiber zerumbet* (L.) at different stages of growth. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 1–10, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1072-6>
- GOBBO-NETO, Leonardo; LOPES, Norberto P. Plantas medicinais: Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 374–381, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200026>
- GONTIJO, Vanessa Silva *et al.* Isolation and evaluation of the antioxidant activity of phenolic constituents of the *Garcinia brasiliensis* epicarp. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 132, n. 3, p. 1230–1235, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.110>
- GOORÉ, Stéphane G. *et al.* Chemical composition of the leaf oil of *artabotrys jollyanus* from côte d'ivoire. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 414–418, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2017.04.001>
- GOVINDARAJAN, Marimuthu; BENELLI, Giovanni. Eco-friendly larvicides from Indian plants: Effectiveness of lavandulyl acetate and bicyclogermacrene on malaria, dengue and Japanese encephalitis mosquito vectors. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 133, p. 395–402, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.035>
- GUSTAFSON, Kirk R. *et al.* THE GUTTIFERONES, HIY-INHIBITORY BENZOPHENONES FROM *Svmuhonia alobulifera*, w *livinastonei*, *Garcinia ovalifolia* and *Clusia rosea* Kirk. **Tetrahedron**, [S. l.], v. 48, n. 10093–10102, p. 10, 1992.
- HATFIELD, Jerry L.; DOLD, Christian. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 10, 2019.

- Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>
- HERNÁNDEZ, Yasnay *et al.* (Hydrocharitaceae) metabolites. *[S. l.]*, v. 64, n. December, p. 1527–1535, 2016.
- HO, Chen Lung *et al.* Composition and antifungal activities of the leaf essential oil of *Neolitsea parvigemma* from Taiwan. **Natural Product Communications**, *[S. l.]*, v. 6, n. 9, p. 1357–1360, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1934578x1100600935>
- HUSSAIN, Abdullah Ijaz *et al.* Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. **Food Chemistry**, *[S. l.]*, v. 108, n. 3, p. 986–995, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.010>
- JAHANGIR, Muhammad *et al.* Healthy and unhealthy plants: The effect of stress on the metabolism of Brassicaceae. **Environmental and Experimental Botany**, *[S. l.]*, v. 67, n. 1, p. 23–33, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.007>
- JOLLIFE, Ian T.; CADIMA, Jorge. Principal component analysis: A review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, *[S. l.]*, v. 374, n. 2065, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- JOSEPH, G. S. *et al.* Antiaflatoxic and antioxidant activities of *Garcinia* extracts. **International Journal of Food Microbiology**, *[S. l.]*, v. 101, n. 2, p. 153–160, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.001>
- JUNIOR, Arquimedes G. *et al.* Estudo morfo-anatômico das folhas e caule da *Calophyllum brasiliense* (Clusiaceae), uma contribuição ao estudo farmacognóstico da droga vegetal. **Acta Farmaceutica Bonaerense**, *[S. l.]*, v. 24, n. 3, p. 371–376, 2005.
- KALGHATGI, K. K.; RAO, P. V. S. Microbial L phenylalanine ammonia lyase. Purification, subunit structure and kinetic properties of the enzyme from *Rhizoctonia solani*. **Biochemical Journal**, *[S. l.]*, v. 149, n. 1, p. 65–72, 1975. Disponível em: <https://doi.org/10.1042/bj1490065>
- KHAN, Wajahatullah; PRITHIVIRAJ, Balakrishnan; SMITH, Donald L. Chitosan and chitin oligomers increase phenylalanine ammonia-lyase and tyrosine ammonia-lyase activities in soybean leaves. **Journal of Plant Physiology**, *[S. l.]*, v. 160, n. 8, p. 859–863, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00905>
- KLAUKE, A. L. *et al.* The cannabinoid CB2 receptor-selective phytocannabinoid beta-caryophyllene exerts analgesic effects in mouse models of inflammatory and neuropathic pain. **European Neuropsychopharmacology**, *[S. l.]*, v. 24, n. 4, p. 608–620, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2013.10.008>
- KOO, Michel Hyun; KUN, Yong. Investigation of Flayonoid Aglycones in Propolis Collected. *[S. l.]*, v. 61, n. 2, p. 367–369, 1997.
- KUMAR, Satyanshu; SHARMA, Shelly; CHATTOPADHYAY, Sunil Kumar. The potential health benefit of polyisoprenylated benzophenones from *Garcinia* and related genera: Ethnobotanical and therapeutic importance. **Fitoterapia**, *[S. l.]*, v. 89, n. 1, p. 86–125, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.05.010>
- LAMBERS, Hans; PONS, Thijs L.; III, F. Stuart Chapin. **Plant physiological ecology**. *[S. l.: s. n.]*. v. 46E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.5860/choice.46-4432>
- LEE, Yee Ling; DING, Phebe. Physiological production of essential oil in plants - Ontogeny, secretory structures and seasonal variations. **Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews**, *[S. l.]*, v. 2, n. 1, p. 0–10, 2016.
- LENTA, Bruno Ndjakou *et al.* Leishmanicidal and cholinesterase inhibiting activities of phenolic compounds from *Allanblackia monticola* and *Symphonia globulifera*. **Molecules**, *[S. l.]*, v. 12, n. 8, p. 1548–1557, 2007. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/12081548>

LI, Nani *et al.* Leaf non-structural carbohydrates regulated by plant functional groups and climate: Evidences from a tropical to cold-temperate forest transect. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 62, p. 22–31, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.017>

LIANOPOULOU, Vaia *et al.* Effects of chilling stress on leaf morphology, anatomy, ultrastructure, gas exchange, and essential oils in the seasonally dimorphic plant *Teucrium polium* (Lamiaceae). **Acta Physiologiae Plantarum**, [S. l.], v. 36, n. 8, p. 2271–2281, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1605-x>

LIU, Wande *et al.* Non-structural carbohydrates regulated by season and species in the subtropical monsoon broad-leaved evergreen forest of Yunnan Province, China.

Scientific Reports, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 1–10, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1038/s41598-018-19271-8>

LLUSIÀ, Joan *et al.* Annual and seasonal changes in foliar terpene content and emission rates in *cistus albidus* L. submitted to soil drought in Prades Forest (Catalonia, NE Spain). **Acta Physiologiae Plantarum**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 387–394, 2010.

Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0416-y>

LORETO, Francesco *et al.* Plant volatiles and the environment. **Plant, Cell and Environment**, [S. l.], v. 37, n. 8, p. 1905–1908, 2014. Disponível em:

<https://doi.org/10.1111/pce.12369>

LORETO, Francesco; SCHNITZLER, Jörg Peter. Abiotic stresses and induced BVOCs. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 154–166, 2010. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.12.006>

MACHADO, Filipa *et al.* Photosynthetic performance and volatile organic compounds profile in *Eucalyptus globulus* after UVB radiation. **Environmental and Experimental Botany**, [S. l.], v. 140, n. November 2016, p. 141–149, 2017. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.05.008>

MANOHAR, S. H. *et al.* Chemical composition of *Garcinia xanthochymus* seeds, seed oil, and evaluation of its antimicrobial and antioxidant activity. **Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 148–155, 2014. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/10496475.2013.847886>

MARCHIORI, Nidia Mara *et al.* Effects of seasonal air temperatures and light on leaf traits at atlantic montane forest, Brazilian southeast. **Cerne**, [S. l.], v. 25, n. 3, p. 263–272, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01047760201925032625>

MARTINS, Felipe T. *et al.* Composition, and anti-inflammatory and antioxidant activities of the volatile oil from the fruit peel of *Garcinia brasiliensis*. **Chemistry and Biodiversity**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 251–258, 2008. Disponível em:

<https://doi.org/10.1002/cbdv.200890022>

MEDINA, Miguel A. *et al.* Hyperforin: More than an antidepressant bioactive compound? **Life Sciences**, [S. l.], v. 79, n. 2, p. 105–111, 2006. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.12.027>

MEHTA, P. M.; BHAVNARAYANA, K. Role of phenylalanine and tyrosine ammonia lyase enzymes in the pigmentation during development of brinjal fruit. **Proceedings: Plant Sciences**, [S. l.], v. 90, n. 4, p. 293–297, 1981. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/BF03052927>

MENON, Lekshmi N. *et al.* Profiles of volatile chemicals from the leaves of six *Garcinia* species from North East India. **Natural Product Research**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–5, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1667349>

MERZA, Joumaa *et al.* Prenylated xanthenes and tocotrienols from *Garcinia virgata*.

- Phytochemistry**, [S. l.], v. 65, n. 21 SPEC. ISS., p. 2915–2920, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.06.037>
- MILLER, Gail Lorenz. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- MOHAN RAO, Lingamallu Jagan *et al.* Occurrence of antioxidant and radical scavenging proanthocyanidins from the Indian minor spice nagkesar (*Mammea longifolia* planch and triana syn). **Bioorganic and Medicinal Chemistry**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 31–36, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2003.10.052>
- MORAIS LAS. Influência Dos Fatores Ambientais Na Composição Química Dos Óleos Essenciais. **Horticultura Brasileira**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 4050–4063, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/143457/1/2009AA-051.pdf>
- MOREIRA, Maria Eliza de Castro *et al.* Bacupari peel extracts (*Garcinia brasiliensis*) reduce high-fat diet-induced obesity in rats. **Journal of Functional Foods**, [S. l.], v. 29, p. 143–153, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.11.001>
- NAVES, V. M. L. *et al.* Antimicrobial and antioxidant activity of *Garcinia brasiliensis* extracts. **South African Journal of Botany**, [S. l.], v. 124, p. 244–250, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.021>
- NDJAKOU LENTA, B. *et al.* In vitro antiprotozoal activities and cytotoxicity of some selected Cameroonian medicinal plants. **Journal of Ethnopharmacology**, [S. l.], v. 111, n. 1, p. 8–12, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.10.036>
- OKHALE, Samuel *et al.* Chemical Constituents and Antimicrobial Activity of the Leaf Essential Oil of *Garcinia kola* Heckel (Clusiaceae) from Nigeria. **American Chemical Science Journal**, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 1–7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/acsj/2016/24019>
- OLIVEIRA, Grazielle C. *et al.* Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. **Chilean Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 76, n. 1, p. 123–128, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000100017>
- OLIVEIRA, Marciel T. *et al.* Seasonal variability in physiological and anatomical traits contributes to invasion success of *Prosopis juliflora* in tropical dry forest. **Tree Physiology**, [S. l.], v. 37, n. 3, p. 326–337, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw123>
- OSÓRIO, M. L.; OSÓRIO, J.; ROMANO, A. Chlorophyll fluorescence in micropropagated *Rhododendron ponticum* subsp. *baeticum* plants in response to different irradiances. **Biologia Plantarum**, [S. l.], v. 54, n. 3, p. 415–422, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10535-010-0076-1>
- PANG, Xiufeng *et al.* Morelloflavone, a biflavonoid, inhibits tumor angiogenesis by targeting Rho GTPases and extracellular signal-regulated kinase signaling pathways. **Cancer Research**, [S. l.], v. 69, n. 2, p. 518–525, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-08-2531>
- PEREIRA, I. O. *et al.* Leishmanicidal activity of benzophenones and extracts from *Garcinia brasiliensis* Mart. fruits. **Phytomedicine**, [S. l.], v. 17, n. 5, p. 339–345, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.07.020>
- PEREIRA, Sérgio Parreiras *et al.* Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 152–160, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000200006>
- PEREIRA, Tais Susane *et al.* Mutagenic and cytostatic activities of the *Xylopia*

- laevigata essential oil in human lymphocytes. **Natural Product Research**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1624956>
- PETERSEN, Maïke; HANS, Joachim; MATERN, Ulrich. **Biosynthesis of Phenylpropanoids and Related Compounds (From APR Volume 40)**. [S. l.: s. n.]. v. 40E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0426>
- PICCINELLI, Anna Lisa *et al.* Structural revision of clusianone and 7-epi-clusianone and anti-HIV activity of polyisoprenylated benzophenones. **Tetrahedron**, [S. l.], v. 61, n. 34, p. 8206–8211, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tet.2005.06.030>
- PINTO, Angelo C. *et al.* Produtos naturais: Atualidade, desafios e perspectivas. **Quimica Nova**, [S. l.], v. 25, n. SUPPL. 1, p. 45–61, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-40422002000800009>
- POORTER, Hendrik; NAGEL, Oscar. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: A quantitative review. **Australian Journal of Plant Physiology**, [S. l.], v. 27, n. 6, p. 595–607, 2000.
- RABÊLO, Valquíria Mikaela *et al.* The foliar application of a mixture of semisynthetic chitosan derivatives induces tolerance to water deficit in maize, improving the antioxidant system and increasing photosynthesis and grain yield. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 1–13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44649-7>
- RADULOVIC, Niko S.; DOROEVIC, Aleksandra S.; PALIĆ, Radosav M. The intrasectional chemotaxonomic placement of *Hypericum elegans* Stephan ex WILLD. Inferred from the essential-oil chemical composition. **Chemistry and Biodiversity**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 943–952, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cbdv.200900252>
- RAMÍREZ-BRIONES, Ernesto *et al.* Seasonal variation in non-structural carbohydrates, sucrolytic activity and secondary metabolites in deciduous and perennial *Diospyros* species sampled in Western Mexico. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 12, n. 10, p. 1–24, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187235>
- REHMAN, Rafia *et al.* Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: A review. **Food Reviews International**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 117–160, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1057841>
- RIBEIRO DE CARVALHO, R. *et al.* Promising synergistic activity of fluconazole with bioactive Guttiferone-A and derivatives against non-albicans *Candida* species. **Journal de Mycologie Medicale**, [S. l.], v. 28, n. 4, p. 645–650, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2018.07.006>
- ROHÁČEK. **Chlorophyll Fluorescence Parameters.pdf**. [S. l.: s. n.]
- ROSADO, Bruno Henrique Pimentel; DE MATTOS, Eduardo A. Chlorophyll fluorescence varies more across seasons than leaf water potential in drought-prone plants. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 88, p. 549–563, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150013>
- ROYCHOUDHURY, Aryadeep; TRIPATHI, Durgesh. **Molecular plant abiotic stress : biology and biotechnology**. [S. l.: s. n.]. E-book.
- SABRA, Ali S. *et al.* Response of Biomass Development, Essential Oil, and Composition of *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. to Irrigation Frequency and Harvest Time. **Chemistry and Biodiversity**, [S. l.], v. 15, n. 3, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800005>
- SALEHI SHANJANI, Parvin *et al.* Effects drying and harvest season on the essential oil composition from foliage and berries of *Juniperus excelsa*. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 83–87, 2010. Disponível em:

- <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.03.003>
SALES, Leilane *et al.* Anticancer activity of 7-epiclusianone, a benzophenone from *Garcinia brasiliensis*, in glioblastoma. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 1–8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12906-015-0911-1>
- SANTA-CECÍLIA, F. V. *et al.* Estudo farmacobotânico das folhas de *Garcinia brasiliensis* Mart. (Clusiaceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 397–404, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000300013>
- SANTA-CECÍLIA, Flávia V. *et al.* Anti-inflammatory and antinociceptive effects of *Garcinia brasiliensis*. **Journal of Ethnopharmacology**, [S. l.], v. 133, n. 2, p. 467–473, 2011 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.09.036>
- SANTA-CECÍLIA, Flávia V. *et al.* Antinociceptive and anti-inflammatory properties of 7-epiclusianone, a prenylated benzophenone from *Garcinia brasiliensis*. **European Journal of Pharmacology**, [S. l.], v. 670, n. 1, p. 280–285, 2011 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2011.08.032>
- SARONI ARWA, Phanuel *et al.* Redox-active biflavonoids from *Garcinia brasiliensis* as inhibitors of neutrophil oxidative burst and human erythrocyte membrane damage. **Journal of Ethnopharmacology**, [S. l.], v. 174, p. 410–418, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.08.041>
- SCHINDLER, Bianca; DA SILVA, Daniela Thomas; HEINZMANN, Berta Maria. Efeito da sazonalidade sobre o rendimento do óleo essencial de *Piper gaudichaudianum* kunth. **Ciencia Florestal**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 263–273, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509831581>
- SCHMIDT, Claus O. *et al.* Mechanisms of the biosynthesis of sesquiterpene enantiomers (+)- and (-)-germacrene D in *solidago canadensis*. **Chirality**, [S. l.], v. 11, n. 5–6, p. 353–362, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-636X\(1999\)11:5/6<353::AID-CHIR2>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-636X(1999)11:5/6<353::AID-CHIR2>3.0.CO;2-L)
- SHARMA, Sonika *et al.* **Regulation of the Calvin cycle under abiotic stresses: an overview**. [S. l.]: INC, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818204-8.00030-8>
- SRIPATHI, Raju; JAYAGOPAL, Dharani; RAVI, Subban. A study on the seasonal variation of the essential oil composition from *Plectranthus hadiensis* and its antibacterial activity. **Natural Product Research**, [S. l.], v. 32, n. 7, p. 871–874, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1363748>
- STOJNIĆ, Srđan *et al.* The use of physiological, biochemical and morpho-anatomical traits in tree breeding for improved water-use efficiency of *Quercus robur* L. **Forest Systems**, [S. l.], v. 28, n. 3, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5424/fs/2019283-15233>
- SUN, Dongbao; WANG, Qingsuo. Linear Relationships between Photosynthetic Rate and Photochemical Energy Expressed by $\Delta F/F_m$ and F_v/F_m . **American Journal of Plant Sciences**, [S. l.], v. 09, n. 02, p. 125–138, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.92011>
- SUZART, Luciano R. *et al.* Biodiversidade flavonoídica e aspectos farmacológicos em espécies dos gêneros *Ouratea* e *Luxemburgia* (Ochnaceae). **Quimica Nova**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 984–987, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000400038>
- TAIZ, Lincon *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal Diversidade vegetal**. [S. l.]:

s. n.]. v. 6 ed.E-book.

TAN, Wen-Nee *et al.* Sesquiterpenes rich essential oil from *Garcinia celebica* L. and its cytotoxic and antimicrobial activities. **Natural Product Research**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–5, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1569012>

TARIN, Tonantzin *et al.* Water-use efficiency in a semi-arid woodland with high rainfall variability. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 496–508, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14866>

TASSONI, Annalisa *et al.* Seasonal changes in amino acids and phenolic compounds in fruits from hybrid cross populations of American grapes differing in disease resistance. **Plant Physiology and Biochemistry**, [S. l.], v. 135, n. December 2018, p. 182–193, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.034>

TUNG, Yu Tang *et al.* Bioactive phytochemicals of leaf essential oils of *Cinnamomum osmophloeum* prevent lipopolysaccharide/ d -galactosamine (LPS/ d -GalN)-induced acute hepatitis in mice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 59, n. 15, p. 8117–8123, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf2018935>

VALARES MASA, Cristina *et al.* Quantitative Variation of Flavonoids and Diterpenes in Leaves and Stems of *Cistus ladanifer* L. at Different Ages. **Molecules (Basel, Switzerland)**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 275, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules21030275>

WABO, Hippolyte K. *et al.* Xanthonés and a benzophenone from the roots of *Pentadesma butyracea* and their antiproliferative activity. **Phytochemistry Letters**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 104–107, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2010.02.006>

WAHID, A. *et al.* Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany**, [S. l.], v. 61, n. 3, p. 199–223, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>

WAKABAYASHI, Kazuyuki; HOSON, Takayuki; KAMISAKA, Seiichiro. Osmotic stress suppresses cell wall stiffening and the increase in cell wall-bound ferulic and diferulic acids in wheat coleoptiles. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 113, n. 3, p. 967–973, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.113.3.967>

WANG, Lei *et al.* System level analysis of cacao seed ripening reveals a sequential interplay of primary and secondary metabolism leading to polyphenol accumulation and preparation of stress resistance. **The Plant journal : for cell and molecular biology**, [S. l.], v. 87, n. 3, p. 318–332, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/tpj.13201>

WIDHALM, Joshua R. *et al.* Identification of a plastidial phenylalanine exporter that influences flux distribution through the phenylalanine biosynthetic network. **Nature Communications**, [S. l.], v. 6, p. 1–11, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ncomms9142>

XU, H.; VAVILIN, D.; VERMAAS, W. Chlorophyll b can serve as the major pigment in functional photosystem II complexes of cyanobacteria. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S. l.], v. 98, n. 24, p. 14168–14173, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.251530298>

YAN, Shunping *et al.* Salicylic acid activates DNA damage responses to potentiate plant immunity. **Molecular Cell**, [S. l.], v. 52, n. 4, p. 602–610, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2013.09.019>

YEDDES, Walid *et al.* Effect of bioclimatic area and season on phenolics and antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) leaves. **Journal of Essential Oil Research**, [S. l.], v. 31, n. 5, p. 432–443, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10412905.2019.1577305>

YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino-acids with ninhydrin. **The Analyst**, [S. l.], v. 80, n. 948, p. 209–214, 1955. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/AN9558000209>

ZAMITH, Luiz Roberto; SCARANO, Fábio Rubio. Produção de mudas de espécies das Restingas do. **Acta bot. bras**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 161–176, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abb/v18n1/v18n1a14>

ZAN, Renato André *et al.* Bioactive properties and phytochemical assessment of Bacupari-anão (: *Garcinia brasiliensis* Mart.) leaves native to Rondônia, Brazil. **Food and Function**, [S. l.], v. 9, n. 11, p. 5621–5628, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c8fo01474d>

ZANANDREA, Ilisandra *et al.* EFEITO DA SALINIDADE SOB PARÂMETROS DE FLUORESCÊNCIA EM *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 157–161, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.18539/cast.v12i2.4512>



Figura S1: Um dos exemplares de *G. brasiliensis* utilizado neste estudo na zona rural da cidade de Alfenas, Minas Gerais, Brasil (21°20'03.0"S 45°58'19.5"W).
Fonte: Do autor (2020)