

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

EDWARD TEIXEIRA DE ALBERGARIA

**O EFEITO DA PLUVIOSIDADE NA CAATINGA SOBRE OS TEORES DE FENÓIS
E TANINOS TOTAIS EM *Cenostigma microphyllum* (MART EX G. DON) E.
GAGNON & G. P. LEWIS (FABACEAE)**

Recife
2020

EDWARD TEIXEIRA DE ALBERGARIA

**O EFEITO DA PLUVIOSIDADE NA CAATINGA SOBRE OS TEORES DE FENÓIS
E TANINOS EM *Cenostigma microphyllum* (MART EX G. DON) E. GAGNON & G. P.
LEWIS (FABACEAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal

Área de concentração: Ecologia e Conservação

Orientador: Prof. Dr. Ulysses Paulino de Albuquerque

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Fernando Moraes de Oliveira

Recife

2020

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB-4/1788

Albergaria, Edward Teixeira de

O efeito da pluviosidade na caatinga sobre teores de fenóis e taninos totais em *Cenostigma microphyllum* (Mart ex G.Don) E. Gagnon & G.P. Lewis (Fabaceae) / Edward Teixeira de Albergaria. – 2020.

41 f. : il.

Orientador: Ulysses Paulino de Albuquerque.

Coorientador: Antônio Fernando Morais de Oliveira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Recife, 2020.

Inclui referências e anexos.

1. Biologia vegetal. 2. Caatinga. 3. Ecológica química. I. Albuquerque, Ulysses Paulino de (orientador). II. Oliveira, Antônio Fernando Morais de (coorientador). III. Título.

570

CDD (22.ed)

UFPE/CB-2020-076

EDWARD TEIXEIRA DE ALBERGARIA

**O EFEITO DA PLUVIOSIDADE NA CAATINGA SOBRE OS TEORES DE FENÓIS
E TANINOS TOTAIS EM *Cenostigma microphyllum* (MART EX G. DON) E.
GAGNON & G. P. LEWIS (FABACEAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Aprovada em 17/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ulysses Paulino de Albuquerque (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Elcida de Lima Araújo (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Marciel Teixeira de Oliveira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Ao meu querido irmão Júlio César Teixeira da Paz,
dedico esta obra

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus orientadores Ulysses Paulino de Albuquerque e Antônio Fernando Moraes de Oliveira pelo apoio e contribuições na elaboração deste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro através da concessão da bolsa de mestrado;

À Thiago Henrique Napoleão e Carlos Eduardo Sales da Silva, respectivamente, chefe e técnico do Laboratório de Bioquímica de Proteínas (BIOPROT), pela gentileza na cessão do espectrofotômetro;

À Jhonatan Rafael Zárate-Salazar pelo auxílio na análise estatística;

À todos da equipe do Laboratório de Ecologia e Evolução de Sistemas Socioecológicos (LEA), em especial a Leonardo da Silva Chaves, pelo suporte na coleta do material vegetal; a Paulo Henrique Santos Gonçalves, pela obtenção dos dados de pluviosidade no WorldClim; aos colegas Ana Karina Caetano dos Santos Marques, Mirela Natália dos Santos e Nylber Augusto da Silva, pelo apoio na elaboração do material visual para apresentação;

À todos os colegas do Laboratório de Ecologia Aplicada e Fitoquímica (LEAF), pelas contribuições na etapa laboratorial da pesquisa, entre eles Felicidade Caroline Rodrigues, Ítalo Rafael de Lima Monteiro e José Jailson Lima Bezerra (Jael).

Por fim, gostaria de agradecer a todos que, mesmo não estando mencionado nesse espaço, fizeram-se presentes e auxiliaram de alguma forma no desenvolvimento desse trabalho.

RESUMO

No Brasil, há grande destaque para estudos relacionados à ecologia química, principalmente àqueles direcionados à identificação de compostos de interesse econômico, no entanto poucos esforços são direcionados à desvendar o potencial medicinal das plantas do semiárido, levando em consideração a influência das variáveis climáticas na produção de metabólitos secundários visto que apenas 2% de sua biodiversidade está inserida em uma área de conservação e as rápidas alterações estão levando à perda da vegetação nativa. Assim, objetivou-se quantificar os teores de fenóis e taninos totais em cascas de caule e folhas da espécie medicinal *Cenostigma microphyllum* (Mart. ex G. Don) E. Gagnon & G.P. Lewis mediante variações pluviométricas em uma área de Caatinga. Para atender a esse objetivo, a dissertação foi dividida em duas partes: a primeira é uma revisão bibliográfica mostrando a influência do estresse hídrico na produção de compostos fenólicos em plantas de interesse medicinal, no qual aponta que a ideia amplamente aceita de que há um aumento geral dos compostos fenólicos em resposta à escassez hídrica é equivocada, sendo, no entanto, um sistema complexo e que difere em cada espécie vegetal. Além disso, a maioria dos artigos acessados foram conduzidos em casa de vegetação, mostrando a existência de lacunas envolvendo espécies arbóreas sob diferentes condições ecofisiológicas. A segunda parte, por sua vez, foca no estudo realizado no Parque Nacional do Catimbau (PE – Brasil), buscando compreender, pelo método espectrofotométrico, a resposta dos teores de fenóis e taninos totais à diferentes valores de pluviosidade, mostrando que tais metabólitos foram significativamente maior na parcela com 705 mm de precipitação, além de ser mais elevados nas folhas que nas cascas. Com isso, os resultados apontam, pela primeira vez na literatura, o aumento dos compostos fenólicos em área onde o valor da precipitação não é extremo, sendo conduzido com uma espécie de hábito arbóreo em condição natural de clima semiárido. Além disso, estudos futuros relacionados a quantificação individual desses compostos e questões associadas à genética desta espécie são necessários para compreender com mais detalhes seu mecanismo de resposta à escassez hídrica.

Palavras-chave: Ecologia Química. Caatinga. Compostos fenólicos.

ABSTRACT

In Brazil, there are great emphasis on studies related to chemical ecology, especially those directed to the identification of economical interest compounds, however few efforts are directed to unveil the medicinal potential of Caatinga Domain plants, taking into account the influence of climate variables on secondary metabolite production since only 2% of its biodiversity is inserted in protected area and progressive changes are leading to the loss of native vegetation. To reach this goal, the essay was divided into two parts: the first one is a literature review showing the influence of water stress on the production of phenolic compounds in plants of medicinal interest, which points out that the widely accepted idea that there is an increase on phenolic compounds rates in response to water scarcity is misunderstood, but it is a complex system that differs in each plant species. In addition, most articles accessed were conducted in a greenhouse, showing the existence of gaps involving tree species under different ecophysiological conditions. Otherwise, the second part focuses on the study carried out in the Catimbau National Park (PE - Brazil) trying to understand, through spectrophotometric method, the response of the total phenol and tannin contents to different rainfall values, showing such metabolites were significantly higher in 705 mm-precipitation plot and, also, higher in leaves than inner barks. Thus, our results points, for the first time in the literature, phenolic compounds increase in an area where the value of precipitation is not extreme, which it was conducted to an arboreal habit plant in a natural and semi-arid climate condition. In addition, future studies related to individual quantification of these compounds and other issues associated to genetic of this species are necessary to understand in more detail its mechanism of response to water stress.

Keywords: Chemical Ecology. Caatinga. Phenolic compounds.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3 O EFEITO DA PLUVIOSIDADE NOS TEORES DE FENÓIS E TANINOS TOTAIS EM <i>Cenostigma microphyllum</i> (MART. EX G. DON) E. GAGNON & G.P. LEWIS (FABACEAE)	27
4 CONCLUSÃO.....	39
ANEXO A – NORMAS PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA SOUTH AFRICAN JOURNAL OF BOTANY	40
ANEXO B – NORMAS PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA JOURNAL OF ARID ENVIRONMENTS	41

1 INTRODUÇÃO

Dentre os diversos tipos de estresse, o déficit hídrico vem ganhando grande destaque na literatura devido as suas implicações no cultivo de plantas alimentícias e medicinais, sobretudo em regiões áridas e semiáridas onde a diminuição da precipitação é premente (MCKIERNAN et al., 2014). A limitação da disponibilidade de água é um sério problema para as plantas, pois fisiologicamente, durante a limitação hídrica, um sinal químico é transmitido das raízes até as folhas através do xilema estimulando o fechamento parcial dos estômatos, o que resulta na diminuição drástica do nível de CO_2 intracelular (CHENG et al., 2018). Com isso, a quantidade de NADPH^+ e H^+ disponíveis para o ciclo de Calvin são reduzidos e, conseqüentemente, a concentração de NADP^+ e o potencial dos receptores de elétrons para a cadeia transportadora de elétrons diminui. Isso leva ao aumento de radicais livres e de espécies reativas de oxigênio, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical superóxido (O_2^-) (SELMAR E KLEINWÄCHTER, 2013). Como consequência, compostos fenólicos, tais como os taninos e flavonoides, são sintetizados como mecanismo de defesa antioxidante com o intuito de evitar a destruição do aparato fotossintético, danos à membrana celular, desnaturação de proteínas e inibição do crescimento vegetal (ARAÚJO et al., 2015). No entanto, é importante ressaltar que as variações nos teores dos metabólitos secundários são mediadas pelo genótipo de cada espécie em resposta às limitações dos recursos hídricos (SCHMIDT et al., 2005). Os compostos fenólicos, além de possuírem propriedades antioxidantes que garantem a sobrevivência das plantas, passaram a atrair a atenção devido a sua importância na manutenção da saúde humana (BETTAIEB et al., 2011). Os efeitos farmacológicos de diferentes compostos fenólicos têm sido extensivamente estudados na literatura. Propriedades anticâncer, anti-inflamatória, antimicrobiana, proteção cardíaca e gastrointestinal e melhoria da circulação sanguínea foram atribuídas aos mais variados tipos de fenólicos (ALINIAN et al., 2016; NÉMETH-ZÁMBORI et al., 2016). Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo de apresentar uma visão geral da influência do estresse hídrico (causado tanto por escassez pluviométrica como de irrigação) na produção de compostos fenólicos em plantas de interesse medicinal.

Sendo assim, a primeira parte desse trabalho consiste em um artigo de revisão sistemática submetido à revista *South African Journal of Botany* – Qualis A3 (**Anexo A**), cujo

objetivo é apresentar o aspecto geral da influência do estresse hídrico na produção de compostos fenólicos em diferentes espécies de plantas utilizadas para fins medicinais.

A segunda parte da dissertação está organizada na forma de um artigo de pesquisa a ser submetido à revista *Journal of Arid Environments* – Qualis A3 (**Anexo B**) e tem como propósito avaliar o efeito de diferentes valores de pluviosidade na síntese de compostos fenólicos (fenóis e taninos totais) na espécie medicinal *Cenostigma microphyllum* (Mart ex. G. Don) E. Gagnon & G. P. Lewis (Fabaceae), coletada no Parque Nacional do Catimbau (PE – Brasil), cuja vegetação está inserida no núcleo de Floresta Seca (SDTFW) Caatinga.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os metabólitos secundários desempenham importantes funções nos processos ecológicos e fisiológicos dos vegetais, bem como nas interações plantas-animais e na adaptação a variáveis bióticas e abióticas (HORNER, 1990). Fatores ambientais como nutrientes presente no solo, temperatura, disponibilidade hídrica e luminosidade podem afetar a composição e a concentração desses compostos, bem como impactar nas propriedades terapêuticas das plantas medicinais (AKULA E RAVISHANKAR, 2011).

Dentre os diversos tipos de estresse, o déficit hídrico vem ganhando grande destaque na literatura devido as suas implicações no cultivo de plantas alimentícias e medicinais, sobretudo em regiões áridas e semiáridas onde a diminuição da precipitação é proeminente (MCKIERNAN et al., 2014). A limitação da disponibilidade de água é um sério problema para as plantas, pois fisiologicamente, durante a limitação hídrica, um sinal químico é transmitido das raízes até as folhas através do xilema estimulando o fechamento parcial dos estômatos, o que resulta na diminuição drástica do nível de CO_2 intracelular (CHENG et al., 2018). Com isso, a quantidade de NADPH^+ e H^+ disponíveis para o ciclo de Calvin são reduzidos e, consequentemente, a concentração de NADP^+ e o potencial dos receptores de elétrons para a cadeia transportadora de elétrons diminui. Isso leva ao aumento de radicais livres e de espécies reativas do oxigênio (ERO), como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical superóxido (O_2^-) (SELMAR E KLEINWÄCHTER, 2013). Como consequência, compostos fenólicos, tais como os taninos e flavonoides, são sintetizados como mecanismo de defesa antioxidante com o intuito de evitar a destruição do aparato fotossintético, danos à membrana celular, desnaturação de proteínas e inibição do crescimento vegetal (ARAÚJO et al., 2015). No entanto, é importante ressaltar que as variações nos teores dos metabólitos secundários são mediadas pelo genótipo de cada espécie em resposta às limitações dos recursos hídricos (SCHMIDT et al., 2005).

Os compostos fenólicos, além de possuírem propriedades antioxidantes que garantem a sobrevivência das plantas, passaram a atrair a atenção devido a sua importância na manutenção da saúde humana (BETTAIEB et al., 2011). Os efeitos farmacológicos de diferentes compostos fenólicos têm sido extensivamente estudados na literatura. Propriedades anticâncer, anti-inflamatória, antimicrobiana, proteção cardíaca e gastrointestinal e melhoria da circulação sanguínea foram atribuídas aos mais variados tipos de fenólicos (ALINIAN et al., 2016; NÉMETH-ZÁMBORI et al., 2016). Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo de apresentar uma visão geral da influência do estresse hídrico (causado tanto por escassez pluviométrica como de irrigação) na produção de compostos fenólicos em plantas de interesse medicinal.

A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão sistemática sobre o efeito do fornecimento hídrico nos teores de compostos fenólicos totais (fenóis, taninos e flavonoides) em plantas medicinais. Para isso, foram analisados, entre novembro de 2018 e agosto de 2019, artigos publicados nas principais bases de dados internacionais: PubMed® (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/advanced>), Scopus® (<https://www.scopus.com/>) e Web of Science® (<https://www.webofknowledge.com/>). A busca foi realizada empregando as seguintes palavras-chave: “water availability” e sinônimos (“water stress”, “drought stress” e “rainfall”) combinadas com os termos “medicinal plant”, “phenol”, “tannin”, “flavonoid”, “phenol, tannin and flavonoid” e “secondary metabolite”.

Os critérios de inclusão adotados consideravam apenas trabalhos que atendiam aos seguintes aspectos: (1) artigos completos em língua inglesa, desconsiderando artigos de revisão, mini-reviews, artigos de opinião, short communications e quaisquer publicações em outros idiomas; (2) possuir a precipitação como fator abiótico influenciando o conteúdo total de fenóis, taninos ou flavonoides e (3) possuir como modelo de estudo plantas de interesse medicinal de qualquer hábito (herbáceo, arbustivo, trepador ou arbóreo).

A busca pelas publicações resultou inicialmente nos seguintes números nas referidas bases de dados: 199 artigos no Web of Science, 139 no PubMed e 06 no Scopus, no qual não houveram artigos duplicados. A primeira triagem dos artigos partiu da leitura dos títulos e resumos das 344 publicações, no qual foram excluídos 298 artigos por não atenderem aos critérios de inclusão estabelecidos. A última etapa da triagem concentrou-se na leitura completa dos 46 artigos sendo que, após avaliação, 25 deles foram excluídos por apresentarem abordagem simultânea (sinérgica) entre duas ou mais variáveis abióticas influenciando o conteúdo dos compostos fenólicos. Dessa forma, 21 artigos de interesse foram eleitos (6,12%

do total de artigos publicados nas três bases de dados). Adicionalmente, foram acessadas as referências dos trabalhos analisados com objetivo de identificar outros estudos que não haviam sido encontrados nas bases consultadas. Sendo assim, treze novos trabalhos foram adicionados, totalizando 34 artigos utilizados na elaboração deste artigo de revisão, cujos nomes das espécies medicinais foram conferidos no The Plant List (<http://www.theplantlist.org/>). Tais artigos foram subdivididos de acordo com a forma de cultivo (irrigação ou pluviosidade), método de análise (colorimétrico ou HPLC), a resposta dos metabólitos de acordo com a parte vegetal, o volume hídrico e o tempo de exposição ao estresse.

Dos 34 artigos de interesse, foram encontrados seis artigos em 2011, cinco em 2016, quatro em 2015, três em 2006, 2014, 2017 e 2019, dois em 2012 e 2018 e apenas um trabalho publicado nos anos de 1994, 2004 e 2005. As publicações foram originárias de 14 países, sendo sete no Brasil, seis no Irã, cinco na China, três na Hungria e na Itália, dois na Alemanha e um na África do Sul, Austrália, Espanha, Estados Unidos da América, Malásia, Paquistão, Tunísia e Índia (Tabela 01). Vale salientar que o clima nas áreas de estudo é predominantemente árido e seco, o que favorece a síntese dos metabólitos secundários, o que faz esses países serem conhecidos pelo forte uso de plantas medicinais.

Por meio da pesquisa foi possível identificar 37 espécies de plantas medicinais usadas como objeto de estudo, distribuídas em 27 gêneros e 14 famílias botânicas, com destaque para as famílias Lamiaceae (10 spp.), Asteraceae (9 spp.), Apiaceae (3 spp.), Fabaceae, Hypericaceae, Myrtaceae e Rosaceae (2 spp.). Quanto ao hábito, as ervas apresentaram-se como importante fonte de recurso medicinal (30 spp.) e as folhas foram a parte vegetal mais investigada (18 estudos), o que pode estar associado ao seu rápido período de crescimento e facilidade no cultivo e coleta.

Estudos referentes a espécies em ambientes naturais, onde o fornecimento hídrico é realizado através da precipitação pluviométrica, foram bastante escassos, sendo a maioria associados a espécies herbáceas cultivadas em casa de vegetação. Araújo et al. (2015) observaram que, em seu trabalho na comunidade do Carão (Altinho, PE – Brasil), a produção de compostos fenólicos na casca de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan teve pouca variação ao longo do ano, apesar das diferenças significativas de pluviosidade entre os meses. Diferentemente do que foi obtido por Monteiro et al. (2006), no qual constataram que as cascas de caule de *A. colubrina* e as folhas da *Myracrodruon urundeuva* Allemão, coletadas em dois fragmentos de Caatinga no município de Caruaru (PE – Brasil), tiveram aumento nos teores de taninos durante o período seco. Hernández et al. (2006), verificaram que os valores de epicatequina e epigallocatequina galato, em condições ambientais (26 dias sem chuva),

permaneceram inalterados nas folhas de *Camellia sinensis* (L.) Kuntze., uma espécie arbustiva conhecida como chá-da-índia, enquanto suas quinonas cresceram bruscamente, principalmente depois de 19 dias de estresse, com uma discreta diminuição no final do experimento, culminando no acúmulo acentuado de proantocianidina. McKiernan et al., (2014) observou que a concentração de compostos fenólicos foliares foi reduzida nas espécies arbóreas *Eucalyptus globulus* Labill. e *E. viminalis* Labill., enquanto que taninos, sideroxylonal A e macrocarpal G não foram afetados pela seca.

Além do local de amostragem (casa de vegetação ou ambiente natural), o método de quantificação dos metabólitos secundários também deve ser considerado. Um deles é a espectrofotometria, no qual utiliza o comprimento de onda da luz visível (400 – 700 nm) na determinação da concentração total de um determinado metabólito presente em um extrato vegetal. A segunda técnica frequentemente empregada nos laboratórios de análise de fitoquímica é o HPLC (High Performance Liquid Chromatography), onde o equipamento separa e quantifica individualmente todas as moléculas de um ou mais metabólitos presentes no extrato vegetal. Utilizando o HPLC, Gharibi et al. (2019) relataram que a concentração de compostos pertencente aos ácidos fenólicos e aos flavonoides nas folhas de *Achillea pachycephala* Rech. f. atingiram os picos em 21 dias de estresse hídrico. Bettaieb et al. (2011) também mostraram, por espectrometria, que os níveis de ácidos fenólicos nas partes aéreas de *Salvia officinalis* L. (espécie subarborescente) foi expressivamente maior durante estresse hídrico severo em comparação com irrigação regular. Um estudo comparativo entre as espécies *Crataegus laevigata* (Poir.) DC. e *C. monogyna* Jacq., detectaram que os níveis de epicatequina, catequina e ácido clorogênico nas folhas aumentaram no estresse hídrico, enquanto os compostos flavonoicos apresentaram variação intraespecífica (KIRAKOSYAN et al., 2004). os níveis de ácido rosmarínico, ácido clorogênico e ácido p-cumárico aumentaram na parte aérea de *Dracocephalum moldavica* L. sob estresse moderado, enquanto o ácido cafeico, apigenina e acacetina-7-O-glicosídeo aumentaram em estresse severo (KAMALIZADEH et al., 2019).

Almeida et al. (2016) observaram que os teores de cumarina, ácido clorogênico e ácido dicafeoilquínico nas folhas de *Mikania glomerata* Spreng. diminuíram significativamente quando foram submetidas à restrição no fornecimento hídrico, enquanto *M. laevigata* Sch. Bip. ex Baker, em condições ideais de irrigação, apresentou níveis elevados desses metabólitos. Tal achado corrobora o estudo de Manukyan (2011) que observou que cada um dos ácidos fenólicos mensurados (cafeico, cumárico, melítico e rosmarínico) atingiram seus picos de forma diferenciada quando submetidas a estresse leve e severo, havendo variação também em cada espécie analisada (*Nepeta cataria* L., *Melissa officinalis* L. e *Salvia officinalis* L.). O estresse

hídrico também foi responsável pela diminuição do teor e do número de compostos fenólicos nas raízes de *Rehmannia glutinosa* (Gaertn.) DC. (CHUNG et al., 2006) e de ácido rosmarínico nas raízes de *Salvia miltiorrhiza* Bunge (LIU et al., 2011). Na parte aérea de *Dracocephalum moldavica* L., os teores de elagitanino, ácido gentísico, apigenina-7-O-glicosídeo e quercetina diminuíram em estresse hídrico severo, enquanto o ácido ferúlico e a luteolina-7-O-glicosídeo não foram significativamente afetados pela seca (KAMALIZADEH et al., 2019). A concentração de compostos flavônicos também permaneceu uniforme na parte aérea da salsa (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss) nas plantas sob controle (bem irrigada) e naquelas sob estresse hídrico (KLEINWÄCHTER et al., 2014). Da mesma forma, no entanto, nenhuma diferença significativa foi detectada nos níveis de calicosina e formononetina nas raízes de *Astragalus propinquus* Schischk até o 14º dia de estresse hídrico, embora o acúmulo de calicosina-7-O- β -D-glicosídeo e ononina tenha sido notado durante todo o período estressante (JIA et al., 2015).

Deve ser salientado que esse aumento na produção de metabólitos secundários não ocorre uniformemente em todos os tecidos e órgãos vegetais, podendo variar entre diferentes partes ou estágios de desenvolvimento de uma mesma espécie vegetal. Um estudo com cominho (*Cuminum cyminum* L.) mostrou que, sob estresse hídrico elevado, o aumento se deu nas taxas de compostos fenólicos tanto nas sementes como nas folhas, mas os de flavonoides e antocianinas aumentaram apenas nas folhas (ALINIAN et al., 2016). Németh-Zámbari et al. (2016), ao mensurarem a produção de compostos fenólicos em erva-cidreira (*Melissa officinalis* L.) e no tomilho (*Thymus vulgaris* L.) também puderam perceber que os valores, em ambas as espécies, eram sempre maiores nas partes aéreas do que nas raízes, em estresse hídrico. Mesmo resultado foi obtido por Daniels et al. (2015) no qual descobriram que os teores de polifenóis, flavonóides e flavonas aumentaram nas raízes do arbusto *Gethyllis campanulata* L. Bolus cultivadas sob estresse hídrico, enquanto apenas os dois últimos compostos aumentaram nas folhas. Compostos como uliginosina B e 5-hidroxi-6-isobutiril-7-metoxi-2,2-dimetil-benzopirano apresentaram maiores rendimentos nas partes reprodutivas que nas folhas de *Hypericum polyanthemum* Klotzsch ex Reichardt quando submetidas a estresse hídrico, enquanto o 6-isobutiril-5,7-dimetoxi-2,2-dimetil-benzopirano e fenóis totais mostraram maiores rendimentos em ambas as estruturas vegetais (NUNES et al., 2014). Também foi possível observar níveis elevados de isouliginosina B (na raiz), 1,5-hidroxixantona (raiz e parte aérea), rutina e quercetina (apenas na parte aérea) mensurados em *Hypericum brasiliense* Choisy durante a escassez de água (ABREU E MAZZAFERA, 2005). Kurup et al. (1994) mostraram que a suspensão de irrigação por 12 dias levou ao acúmulo de fenóis totais em duas

variedades de *Tagetes erecta* L. tanto na fase de transplante quanto na pré-floração, decrescendo rapidamente após reidratação.

O volume hídrico (classificado em reduzido e moderado, de acordo com a capacidade de campo) ao qual a planta está submetida também é um dos fatores que influencia a síntese de metabólitos secundários. Por exemplo, o conteúdo fenólico nas partes aéreas de duas variedades de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) foi maior sob volume hídrico reduzido (30% FC) que em irrigação regular (PIRBALOUTI et al., 2017). A mesma resposta foi observada para flavonoides totais na raiz de *Stellaria dichotoma* L. var. *lanceolata* Bunge (ZHANG et al., 2017), no teor de polifenóis, flavonoides e antocianinas nas folhas de *Helichrysum petiolare* Hilliard & B.L.Burt, com discretas alterações nos polifenóis apenas na fase final do experimento em volume moderado (50% FC) (CASER et al., 2016), nos fenóis totais e flavonoides nas folhas de *Marantodes pumilum* (Blume) Kuntze, no qual foi mais significativo na var. *pumila* que na var. *alata* (JAAFAR et al., 2012) e nos compostos fenólicos nas folhas de *Trachyspermum ammi* (L.) Sprange (AZHAR et al. 2011). Resposta diferente foi encontrada por Gharibi et al. (2015) que, ao comparar três herbáceas do gênero *Achillea* (*A. filipendulina* Lam., *A. millefolium* L. e *A. nobilis* L.), constatou aumento significativo e uniforme do conteúdo fenólico e de flavonoides foliares em estresse hídrico moderado (50% FC), enquanto em volume reduzido (25% FC) o teor de tais compostos apresentou variação intraespecífica. Em um estudo que investigou o impacto do estresse hídrico sobre os aspectos bioquímicos de cinco genótipos de erva-cidreira (*Melissa officinalis* L.), os teores de flavonoides totais e de compostos derivados do ácido hidroxicinâmico não tiveram variações significativas entre as plantas bem irrigadas e aquelas em déficit hídrico (40% FC), porém, houve decréscimo do seu conteúdo de polifenóis e de ácido rosmarínico (SZABÓ et al., 2017).

Alguns trabalhos também avaliaram a resposta das ervas medicinais em função do tempo (dias ou meses) em que permaneceram sob estresse hídrico. Caser et al. (2019), por exemplo, em seu estudo com folhas de *Salvia dolomitica* Codd., mostraram que em condições de estresse hídrico, houve diminuição significativa nos teores de fenóis e flavonoides totais do dia 4 ao dia 11, não havendo nenhuma diferença significativa até o final do experimento (32º dia). Esse decréscimo também foi observado por Cheng et al. (2018) no qual o teor de baicalina nas raízes de *Scutellaria baicalensis* Georgi elevou-se com 12 dias de estresse hídrico (valor significativamente maior que o controle), mas que foi continuamente diminuindo até o final do experimento (20º dia). Tais respostas foram semelhantes aos teores de compostos fenólicos foliares do tomilho (*Thymus vulgaris* L.) com intervalo de irrigação de 2, 4, 6, 8 e 10 dias por

cerca de seis meses (KHOSH-KHUI et al., 2012) e aos de flavonóides foliares do alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.), após 270 dias de cultivo (ALVARENGA et al., 2011).

Em contraste aos resultados anteriores, os fenóis e flavonoides totais das folhas de *Salvia sinaloensis* Fernald apresentaram redução nas plantas bem irrigadas (menor valor entre os dias 21 e 25 de cultivo) quando comparadas com indivíduos em estresse moderado e severo, no qual, neste último tratamento, o pico de fenóis ocorreu entre o 11º e 18º dia de cultivo (CASER et al., 2018). Já o teor de flavonóides totais nas folhas de *Calendula officinalis* L. não apresentaram variação significativa quando submetidas a estresse hídrico por 3, 6 e 9 dias (PACHECO et al., 2011). Outro aspecto observado por Radacsi et al. (2016) em sua pesquisa levou em consideração o tipo de estresse (súbito ou gradual), no qual os maiores valores de flavonoides totais das folhas da erva-cidreira (*Melissa officinalis* L.) foram obtidos em redução hídrica súbita, enquanto o ácido rosmarínico foi detectado em plantas submetidas à redução gradual.

Portanto, a ideia amplamente aceita de que há aumento generalizado dos compostos fenólicos em resposta ao estresse hídrico é, na maioria das vezes, incoerente, já que eles podem apresentar tanto decréscimo como não haver alterações em sua concentração quando submetido à restrição hídrica. Uma vez que a maior parte dos estudos têm sido conduzidos com espécies herbáceas cultivadas em casa de vegetação, no qual as condições ambientais podem ser controladas, percebe-se ainda a existência de lacunas referentes à composição de fenólicos em espécies arbóreas e arbustivas sob diferentes condições ecofisiológicas em ambiente natural. Além disso, fatores como tempo de exposição e volume de água fornecida à planta servem como principais moduladores da resposta dos metabólitos vegetais ao agente estressante.

Tabela 1. Publicações identificadas nas principais bases de dados (Pubmed, Scopus e Web of Science) através da revisão sistemática

1. Referência	2. Origem	3. Espécie	4. Família	5. Parte da planta	6. Forma de cultivo	7. Forma de análise	8. Classe fitoquímica	9. Composto analisado
Caser et al. (2019)	Itália	<i>Salvia dolomitica</i> Codd.	Lamiaceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico	Fenóis e flavonoides totais	
Gharibi et al. (2019)	Irã	<i>Achillea pachycephala</i> Rech f.	Asteraceae	Folhas	Irrigação	HPLC	Flavonois, flavonas, ácidos fenólicos e flavonoides glicosilados	Rutina, kaempferol, luteolina, apigenina, ácido clorogênico, ácido cafeico, ácido <i>p</i> -cumárico, ácido 1,3-dicafeoilquínico, luteolina-7-O-glucosídeo e apigenina-7-O-glucosídeo
Kamalizadeh et al. (2019)	Irã	<i>Dracocephalum moldavica</i> L.	Lamiaceae	Parte aérea	Irrigação	HPLC	Ácidos fenólicos, elagitaninos e flavonoides	Ácido rosmarínico, ácido clorogênico, ácido <i>p</i> -cumárico, ácido caféico, ácido ferúlico, apigenina, acacetina-7-O-glicosídeo, ácido gentísico, apigenina-7-O-glicosídeo, luteolina-7-O-glicosídeo e quercetina
Caser et al. (2018)	Itália	<i>Salvia sinaloensis</i> Fernald	Lamiaceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico	Fenóis e flavonoides totais	
Cheng et al. (2018)	China	<i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	Lamiaceae	Raiz	Irrigação	HPLC	Flavonoide	Baicalina
Pirbalouti et al. (2017)	Irã	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Lamiaceae	Parte aérea	Irrigação	Colorimétrico	Fenóis totais	
Szabó et al. (2017)	Hungria	<i>Melissa officinalis</i> L.	Lamiaceae	Parte aérea	Irrigação	Colorimétrico	Compostos derivados do ácido hidroxicinâmico, flavonóides totais, compostos fenólicos	.
Zhang et al. (2017)	China	<i>Stellaria dichotoma</i> L. var. <i>lanceolata</i> Bunge	Caryophyllaceae	Raiz	Irrigação	Colorimétrico	Flavonóides totais	
Almeida et al. (2016)	Brasil	<i>Mikania laevigata</i> Sch.Bip. ex Baker e <i>Mikania glomerata</i> Spreng.	Asteraceae	Folhas	Irrigação	HPLC	Ácidos fenólicos	Cumarina, ácido clorogênico e ácido dicafeoilquinico

Alinian et al. (2016)*	Irã	<i>Cuminum cyminum</i> L.	Apiaceae	Folhas e sementes	Irrigação	Colorimétrico	Flavonóides, fenóis e antocianinas	
Caser et al. (2016)	Itália	<i>Helichrysum petiolare</i> Hilliard & B.L. Burt	Asteraceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico	Polifenóis, flavonoides, antocianinas	
Németh-Zámbori et al. (2016)	Hungria	<i>Melissa officinalis</i> L. e <i>Thymus vulgaris</i> L.	Lamiaceae	Parte aérea	Irrigação	Colorimétrico	Flavonoides e fenóis totais e ácido rosmarínico	
Radacsi et al. (2016)	Hungria	<i>Melissa officinalis</i> L.	Lamiaceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico	Flavonóides totais e composto fenólico	Ácido rosmarínico
Araújo et al. (2015)	Brasil	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Fabaceae	Casca do caule	Precipitação	HPLC	Compostos fenólicos	
Daniels et al. (2015)	Africa do Sul	<i>Gethyllis campanulata</i> L. Bolus (<i>Gethyllis multifolia</i> L. Bolus)	Amarillydaceae	Folhas e raízes	Irrigação	Colorimétrico	Polifenol, flavonol e flavonona	
Gharibi et al. (2015)*	Irã	<i>Achillea millefolium</i> L., <i>A. nobilis</i> L. e <i>A. filipendulina</i> Lam.	Asteraceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico	Compostos fenólicos e flavonoides	
Jia et al. (2015)*	China	<i>Astragalus propinquus</i> Schischk. (<i>Astragalus membranaceus</i> var. <i>mongholicus</i> (Bunge.) P.K.Hsiao)	Fabaceae	Raiz	Irrigação	HPLC	Flavonóides	Calicosina-7-O-b-D-glicosídeo, ononina, and formononetina
Kleinwächter et al. (2014)*	Alemanha	<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss	Apiaceae	Parte aérea	Irrigação	HPLC	Flavonas	malonilapiin, apiosildiosmetina glicosídeo e malonilapiosildiosmetina glicosídeo
Nunes et al. (2014)	Brasil	<i>Hypericum polyanthemum</i> Klotzsch ex Reichardt	Hypericaceae	Folhas e partes reprodutivas	Irrigação	Colorimétrico e HPLC	Compostos fenólicos	Uliginosina B (floroglucinol), 6-isobutiril-5,7-dimetoxi-2,2-dimetil-benzopirano e 5-hidroxi-6-isobutiril-7-metoxi-2,2-dimetil-benzopirano (benzopiranos) e fenóis totais (TPC)
McKiernan et al. (2014)*	Australia	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill. e <i>E. viminalis</i> Labill.	Myrtaceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico e HPLC	Fenóis totais, taninos condensados totais e dois floroglucinóis	Sideroxylonal A e macrocarpal G
Jaafar et al. (2012)*	Malásia	<i>Marantodes pumilum</i> (Blume) Kunze (<i>Labisia pumila</i>)	Primulaceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico	Compostos fenólicos, flavonóides e antocianinas	

		(Blume) Fern.-Vill.) var. <i>alata</i> Scheff. e var. <i>pumila</i>						
Khosh-Khui et al. (2012)*	Irã	<i>Thymus vulgaris</i> L.	Lamiaceae	Parte aérea	Irrigação	Colorimétrico	Compostos fenólicos	
Alvarenga et al. (2011)	Brasil	<i>Lippia sidoides</i> Cham	Verbenaceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico	Flavonoides totais	
Azhar et al. (2011)	Paquistão	<i>Trachyspermum ammi</i> (L.) Sprague	Apiaceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico	Compostos fenólicos	
Bettaieb et al. (2011)*	Tunísia	<i>Salvia officinalis</i> L.	Lamiaceae	Parte aérea	Irrigação	Colorimétrico e HPLC	Compostos fenólicos	
Liu et al. (2011)*	China	<i>Salvia miltiorrhiza</i> Bunge	Lamiaceae	Raiz	Irrigação	HPLC	Ácido fenólico	Ácido rosmarínico
Manukyan (2011)*	Alemanha	<i>Nepeta cataria</i> L., <i>Melissa officinalis</i> L., <i>Salvia officinalis</i> L.	Lamiaceae	Planta inteira	Irrigação	HPLC	Ácidos fenólicos	Ácido cafeico, ácido rosmarínico e ácido p-cumárico
Pacheco et al. (2011)	Brasil	<i>Calendula officinalis</i> L.	Asteraceae	Folhas	Irrigação	Colorimétrico	Flavonóides	
Chung et al. (2006)*	China	<i>Rehmannia glutinosa</i> (Gaertn.) DC.	Orobanchaceae	Raízes	Irrigação	HPLC	Compostos fenólicos	Resveratrol, ácido gentísico, catequina, ácido hidroxicinâmico, ácido clorogênico, ácido sirínico, ácido cumárico, ácido ferúlico, hesperidina, naringina, ácido salicílico, hyricetina, quercetina, ácido cinâmico e naringenina
Hernández et al. (2006)	Espanha	<i>Camellia sinensis</i> (L.) Kuntze.	Theaceae	Folhas	Precipitação	HPLC colorimétrico e	Flavanóis (flavan-3-ols) e proantocianidina (taninos condensados)	Epicatequina, epigallocatequina-3-galato e suas quinonas
Monteiro et al. (2006)*	Brasil	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão e <i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Anacardiaceae e Fabaceae	Folha e casca de caule	Precipitação	Colorimétrico	Tanino	
Abreu e Mazzafera (2005)	Brasil	<i>Hypericum brasiliense</i> Choisy	Hypericaceae	Raízes e partes aéreas	Irrigação	HPLC	Compostos fenólicos e flavonoides	Isouliginosina B; 1,5-dihidroxixantona, quercetina e rutina

Kirakosyan et al. (2004)*	Estados Unidos	<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC. e <i>C. monogyna</i> Jacq.	Rosaceae	Folhas	Irrigação	HPLC	Compostos polifenólicos	Ácido clorogênico, catequina, epicatequina, vitexina, vitexina-2''-O'-ramnosídeo, acetilvitexina-2''-ramnosídeo, hiperosídeo, quercetina e rutina
Kurup et al. (1994)*	Índia	<i>Tagetes erecta</i> L.	Asteraceae	Não informado	Irrigação	Colorimétrico	Compostos fenólicos	

Nota: * Artigos obtidos através das referências dos demais trabalhos analisados

REFERÊNCIAS

ABREU, I.N.; MAZZAFERA, P. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum 22anceolate*22 Choisy. **Plant Physiology Biochemistry**. 2005. V. 43. 241-248.

AKULA, R.; RAVISHANKAR, G.A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling & Behavior**. 2011. 6(11): 1720-1731.

ALINIAN, S.; Razmjoo, J.; Zeinali, H. Flavonoids, anthocyanins, phenolics and essential oil produced in cumin (*Cuminum cyminum* L.) 22anceolate under diferente irrigation regimes. **Industrial Crops and Products**. 2016. V. 81. 49-55.

ALMEIDA, C.L.; Xavier, R.M.; Borghi, A.A.; Santos, V.F.; Sawaya, A.C.H.F. Effect of seasonality and growth conditions on the content of coumarin, chlorogenic acid and dicaffeoylquinic acids in *Mikania laevigata* Schultz and *Mikania 22anceolat* Sprengel (Asteraceae) by UHPLC-MS/MS. **International Journal of Mass Spectrometry**. 2016. 162–172.

ALVARENGA, I.C.A.; Valadares, R. V.; Martins, E. R.; Oliveira, F. G.; Figueiredo, L. S.; Kobayashi, M. K. Water stress before harvest of pepper-rosmarin. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2011. 46(7). 706–711.

ARAÚJO, T.A.S.; Almeida e Castro, V.T.N.; Silva Solon, L.G.; Silva, G.A.; Almeida, M.G.; Costa, J.G.M; Amorim, E.L.C; Albuquerque, U.P. Does rainfall affect the antioxidant capacity and production of phenolic compounds of an important medicinal species? **Industrial Crops and Products**. 2015. V. 76. 550–556.

AZHAR, N.; Hussain, B., Ashraf, M. Y., Abbasi, K. Y. Water stress mediated changes in growth, physiology and secondary metabolites of desi ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). **Pakistan Journal of Botany**. 2011. V.43. 15–19.

BETTAIEB, I.; Hamrouni-Sellami, I.; Bourgou, S.; Limam, F.; Marzouk, B. Drought effects on polyphenol composition and antioxidante activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. **Acta Physiologiae Plantarum**. 2011. V. 33: 1103–1111.

CASER, M.; Chitarra, W.; D'Angiolillo, F.; Perrone, E.; Demasi, S.; Lovisolo, C.; Pistelli, L.; Pistelli, L.; Scariot, V. Drought stress adaptation modulates plant secondary metabolite production in *Salvia dolomitica* Codd. **Industrial Crops and Products**. 2019. V. 129. 85-96.

CASER, M.; D'Angiolillo, F.; Chitarra, W.; Lovisolo, C.; Ruffoni, B.; Pistelli, L.; Pistelli, L.; Scariot, V. Ecophysiological and phytochemical responses of *Salvia sinaloensis* Fern. To drought stress. **Plant Growth Regulation**. 2018. V. 84. 383–394.

CASER, M.; D'Angiolillo, F.; Chitarra, W.; Lovisolo, C.; Ruffoni, B.; Pistelli, L.; Scariot, V. Water deficit regimes trigger changes in valuable physiological and phytochemical parameters in *Helichrysum petiolare* Hilliard & BL Burt. **Industrial Crops and Products**. 2016. V. 83. 680–692.

CHENG, L.; Han, M.; Yang, L.; Yang, L.; Sun, Z.; Zhang, T. Changes in the physiological characteristics and baicalin biosynthesis metabolism of *Scutellaria baicalensis* Georgi under drought stress. **Industrial Crops and Products**. 2018. V. 122. 473–482.

CHUNG, I.M.; Kim, J.J.; Lim, J.D.; Yu, C.Y.; Kim, S.H.; Hahn, S.J. Comparison of resveratrol SOD activity, phenolic compounds and free aminoacids in *Rehmannia glutinosa* under temperature and water stress. **Environmental and Experimental Botany**. 2006. V. 56. 44–53.

DANIELS, C.W.; Rautenbach, F.; Marnewick, J.L.; Valentine, A.J.; Babajide, O.J.; Mabusela, W.T. Environmental stress effect on the photochemistry and antioxidante activity of a South African bulbous geophyte *Gethyllis multifolia* L. Bolus. **South African Journal of Botany**. 2015. V. 96. 29–36.

GHARIBI, S.; Tabatabaei, B.E.S.; Saeidi, G.; Talebi, M.; Matkowski, A. The effect of drought stress on polyphenolic compounds and 23anceolate23 of flavonoids biosynthesis related genes in *Achillea pachycephala* Rech. F. **Phytochemistry**. 2019. V. 162. 90–98.

GHARIBI, S.; Saeidi, G.; Goli, S.A.H. Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. 2015. V. 178. 796–809.

HERNÁNDEZ, I.; Alegre, L.; Munné-Bosch, S. Enhanced oxidation of flavan-3-ols and proanthocyanidin accumulation in water-stressed tea plants. **Phytochemistry**. 2006. V. 67. 1120–1126.

HORNER, J.D. Nonlinear effects of water deficits on foliar tannin concentration. **Biochemical Systematics and Ecology**. 1990. V. 18. 211–213.

JAAFAR, H.Z.E.; Ibrahim, M.H.; Fakri, N.F.M. Impact of soil field water capacity in secondary metabolites, phenylalanine ammonialyase (PAL), maliondialdehyde (MDA) and photosynthetic responses of Malaysian kacip Fatimah (*Labisia pumila* Benth). **Molecules**. 2012. V. 17. 7305–7322.

JIA, X.; Sun, C.S.; Li, G.Y.; Li, G.B.; Chen, G.L. Effects of progressive drought stress on the physiology, antioxidative enzymes and secondary metabolites of Radix Astragali. **Acta Physiologiae Plantarum**. 2015. 37: 262.

KAMALIZADEH, M.; Bihamta, M.; Zarei, A. Drought stress and TiO₂ nanoparticles affect the composition of different active compounds in the Moldavian dragonhead plant. **Acta Physiologiae Plantarum**. 2019. 41:21.

KHOSH-KHUI, M.; Ashiri, F.; Saharkhiz, M.J. Effects of irrigation regimes on antioxidant activity and total phenolic content of thyme (*Thymus vulgaris* L.). **Journal of Medicinal and Aromatic Plants**. 2012. 1(7). 1000114.

KIRAKOSYAN, A.; Kaufman, P.; Warber, S.; Zick, S.; Aaronson, S.B.; Chang, S.C. Applied environmental stresses to enhance the levels of polyphenolics in leaves of hawthorn plants. **Acta Physiologiae Plantarum**. 2004. V. 121. 182-186.

KLEINWÄCHTER, M.; Paulsen, J.; Bloem, E.; Schnug, E.; Selmar, D. Moderate drought and signal transducer induced biosynthesis of relevant secondary metabolite in thyme (*Thymus vulgaris*), greater celandine (*Chelidonium majus*) and parsley (*Petroselinum crispum*). **Industrial Crops and Products**. 2014. 1-9.

KURUP, S.S.; Nalwadi, U.G.; Basarkar, P.W. Phenolic biosynthesis in relation to moisture stress in marigold (*Tagetes erecta* L.). **Acta Horticulturae**. 1994. V. 381. 489-493.

LIU, H.; Wang, X.; Wang, D.; Zou, Z.; Liang, Z. Effect of drought stress on growth and accumulation of active constituents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. **Industrial Crops and Products**. 2011. V. 33. 84–88.

MANUKYAN, A. Effect of growing factors on productivity and quality of lemon catmint, lemon balm and sage under soilless greenhouse production: I. Drought stress. **Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology**. 2011. 5 (2): 119–125.

MCKIERNAN, A.B., Hovenden, M.J., Brodribb, T.J., Potts, B.M., Davies, N.W., O'Reilly-Wapstra, J.M. Effect of limited water availability on foliar plant secondary metabolites of two *Eucalyptus* species. **Environmental and Experimental Botany**. 2014. 105(1): 55-64.

MONTEIRO, J.M.; Albuquerque, U.P.; Neto, E.M.F.L.; Araújo, E.L.; Albuquerque, M.M.; Amorim, E.L.C. The effects of seasonal climate changes in the Caatinga on tannin levels in *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. And *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. 2006. 16(3): 338-344.

NÉMETH-ZÁMBORI, E.; Pluhar, Z.; Szabó, K.; Malekzadeh, M.; Radacsi, P.; Inotai, K.; Komaromi, B.; Seidler-Lozykowska, K. Effect of water supply on growth and polyphenols of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) and thyme (*Thymus vulgaris* L.). **Acta Biologica Hungarica**. 2016. 67(1): 64–74.

NUNES, J.M.; Bertodo, L.O.O.; Rosa, L.M.G.; von Poser, G.L.; Rech, S.B. Stress induction of valuable secondary metabolites in *Hypericum polyanthemum* acclimatized plants. **South African Journal of Botany**. 2014. 94: 182–189.

PACHECO, A.C.; Camargo, P.R.; Souza, C.G.M. Water deficit and ABA application on leaf gas exchange and flavonoid content in marigold (*Calendula officinalis* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**. 2011. 33(2): 275–281.

PIRBALOUTI, A.G.; Malekpoor, F.; Salimi, A.; Golparvar, A.; Hamed, B. Effects of foliar of the application chitosan and reduced irrigation on essential oil yield, total phenol content and antioxidant activity of extracts from green and purple basil. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**. 2017. 16(6): 177–186.

RADACSI, P.; Szabo, K.; Szabo, D.; Trocsanyi, E.; Németh-Zámbori, E. Effect of water deficit on yield and quality of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). **Zemdirbyste**. 2016. 103(4): 385–390.

SCHMIDT, D.D.; Voelckel, C.; Hartl, M.; Schmidt, S.; Baldwin, I.T. Specificity in ecological interactions. Attack from the Same Lepidopteran Herbivore Results in Species-Specific Transcriptional Responses in Two Solanaceous Host Plants. **Plant Physiology**. 2005. 138: 1763–1773.

SELMAR, D.; KLEINWÄCHTER, M. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. **Industrial Crops and Products**. 2013. 42: 558–566.

SZABÓ, K.; Radacsi, P.; Rajhart, P.; Ladanyi, M.; Nemeth, E. Stress-induced changes of growth, yield and bioactive compounds in lemon balm cultivars. **Plant Physiology and Biochemistry**. 2017. 119: 170–177.

THE PLANT LIST. A Working List of all Plant Species. <http://www.theplantlist.org> (acessado em 03 jun. 2019).

ZHANG, W.; Cao, Z.; Xie, Z.; Lang, D.; Zhou, L.; Chu, Y.; Zhao, Q.; Zhang, X.; Zhao, Y. 2017. Effect of water stress on roots biomass and secondary metabolites in the medicinal plant *Stellaria dichotoma* L. var. *26anceolate* Bge. **Scientia Horticulturae**. 2017. 224: 280–285.

3 O EFEITO DA PLUVIOSIDADE NOS TEORES DE FENÓIS E TANINOS TOTAIS EM *Cenostigma microphyllum* (MART. EX G. DON) E. GAGNON & G.P. LEWIS (FABACEAE)

1. Introdução

As Florestas e Arbustais Tropicais Sazonalmente Secos (SDTFW, sigla em inglês) é um bioma global com 2.700.000 Km² caracterizado por apresentar baixa precipitação anual (< 1.800 mm/ano), alta sazonalidade (períodos de cinco a seis meses recebendo menos de 100 mm de chuva) e vegetação decídua e não adaptada à ocorrência de fogo. As Florestas Secas estão divididas em núcleos, sendo a Caatinga o maior deles, cuja área total (849.516 Km²) compreende cerca de 31% desse bioma na região Neotropical (Queiroz et al., 2017; Pennington et al., 2009) e abrange as áreas de semiárido do Nordeste brasileiro e o Vale do Jequitinhonha (Minas Gerais). Além das múltiplas pressões antrópicas (sobrepastoreio, extração de lenha e outros produtos florestais não madeireiros, conversão da paisagem em agricultura de corte e queima), a SDTFW Caatinga também é uma das regiões mais vulneráveis à crise climática (Collevatti et al., 2017; Ripple et al., 2019), principalmente devido à diminuição da chuva, já que a disponibilidade hídrica (Borchet, 1994) funciona como principal fator limitante ao desenvolvimento e no ciclo de vida vegetal, o que pode acelerar o processo de desertificação e impactar toda a biodiversidade e serviços ecossistêmicos (IPCC, 2019; Santos et al., 2014; Vieira et al., 2015).

Mediante essas previsões de alteração dos fatores climáticos, é imperativo entender como as plantas responderão quimicamente ao longo de diferentes valores de pluviosidade e, dentre todas as classes de metabólitos secundários, os compostos fenólicos, em especial, são os que apresentam grande destaque na literatura devido sua aplicabilidade na saúde humana (Araújo et al., 2015; Siqueira et al., 2012; Monteiro et al., 2005). Contudo, considerando a influência da pluviosidade na síntese de compostos fenólicos, as respostas ainda são incertas, no qual é apontado tanto aumento como diminuição e até mesmo inalteração na concentração desses metabólitos (Araújo et al., 2015; McKiernan et al., 2014; Peixoto-Sobrinho et al., 2009; Hernández et al., 2006; Monteiro et al., 2006).

Dentre as diversas espécies presentes na SDTFW Caatinga, *Cenostigma microphyllum* (Mart ex. G. Don) E. Gagnon & G. P. Lewis (Fabaceae), conhecida popularmente como catingueira, é uma espécie endêmica, nativa e de grande abundância (Fernandes et al., 2019;

Gagnon et al., 2016), apresentando também considerável importância para a população local sendo utilizada para diversos fins desde medicinal (principalmente no tratamento de doenças associadas ao sistema digestório) a madeireiro e combustível (Gomes et al., 2019), o que a torna um objeto de estudo interessante quanto ao aspecto de ecologia química, uma vez que a disponibilidade de informações sobre ela é escassa. Além disso, estudos considerando espécies arbóreas em condições naturais de clima semiárido são bastante limitados na literatura (Albergaria et al., 2020).

Com isso, o objetivo deste artigo é compreender a influência de diferentes valores de pluviosidade na síntese de compostos fenólicos (fenóis e taninos totais) tanto nas folhas quanto na casca de caule da espécie medicinal *C. microphyllum*, levando em consideração a Hipótese da Disponibilidade de Recurso (HDR) (Coley et al., 1985), que se baseia no pressuposto de que plantas localizadas em ambientes com baixa disponibilidade de recursos tendem a investir prioritariamente em defesas químicas do que em crescimento. Assim, esperaríamos que os indivíduos das parcelas com menor valor de pluviosidade apresentassem maior concentração de fenóis e taninos totais em ambas as estruturas vegetais.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no Parque Nacional do Catimbau, localizado no estado de Pernambuco – Brasil (8°24'00" e 8°36'35" S; 37°0'30" e 37°1'40" W). O Parque dista 281 Km da capital Recife e abrange parte dos municípios de Buíque, Ibimirim e Tupanatinga. Sua área compreende aproximadamente 62.300 hectares, possui clima semiárido (classificação Köppen-Geiger Bsh), vegetação decídua típica de Caatinga hiperxerófitas e solo predominantemente do tipo litossolo. Apresenta temperatura média anual de 23 °C e alta variação na precipitação média anual (entre 480 e 1.100 mm/ano) (Rito et al., 2017).

No Catimbau, foram previamente montadas vinte parcelas permanentes de 20 x 50 m, como parte do Projeto Ecológico de Longa Duração (PELD) Catimbau, com pelo menos dois quilômetros de distância entre elas, estando cada uma exposta a diferentes valores de precipitação. Além disso, para controlar os possíveis efeitos da altitude e das características

pedológicas nas respostas vegetais, todas as parcelas foram estabelecidas em relevo plano e com o mesmo tipo de solo (arenoso) (Rito et al., 2017).

A precipitação média anual de cada parcela foi obtida através do repositório de dados climáticos WorldClim® considerando a média anual da precipitação histórica de todos os anos disponíveis (1970-2000). Tais valores foram calculados pela interpolação dos dados das estações meteorológicas mais próximas das parcelas, no qual a resolução espacial foi de 1 Km (<http://worldclim.org/version2>) (Fick e Hijmans, 2017) (Tab. 1).

2.2. Delineamento experimental

O material vegetal coletado constituiu-se de folhas e cascas de caule da espécie arbórea *Cenostigma microphyllum* (Mart. ex G. Don) E. Gagnon & G.P. Lewis (catingueira), obtidas no mês de janeiro de 2019. Foram coletadas cerca de 500 gramas de folhas e cascas de caule de três indivíduos adultos (com aproximadamente três metros de altura) em cada parcela, com cinco metros de distância entre si. Para controlar o efeito das variáveis altura dos indivíduos, temperatura e luminosidade e, também, padronizar as coletas, as cascas dos caules foram retiradas a partir de um metro do solo, enquanto as folhas maduras, intactas e sem sinais de predação foram obtidas sempre de posições sombreadas das árvores. As amostras foram armazenadas em sacolas plásticas, desidratadas em temperatura ambiente (26 °C), no intuito de conservar melhor as propriedades fitoquímicas do material, pulverizadas e peneiradas antes do processo de extração e quantificação dos compostos fenólicos totais.

A coleta foi autorizada pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), registrada sob o nº 64367-1. O processo de coleta e herborização seguiu os parâmetros sugeridos por Mori et al. (1989) com identificação realizada pela Prof. Dr^a. Rita de Cássia Araújo Pereira, no qual um voucher foi depositado no Herbário Dárdano de Andrade-Lima do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA - PE) sob o nº 91695.

2.3. Determinação dos teores de fenóis e taninos totais

A partir das cascas e folhas foram preparados extratos metanólicos em Erlenmeyer de 50 mL, contendo 500 mg do órgão vegetal pulverizado e 25 mL do solvente (metanol 80% v/v), submetendo-os a um leve aquecimento em chapa aquecedora (Tecnal® TE-0851) por 30 minutos. Em seguida, os extratos foram filtrados com papel-filtro qualitativo Unifil® 15 cm para um balão volumétrico de 50 mL. Para evitar perda de material, os resíduos do frasco foram lavados com 25 mL de metanol e o volume foi completado com o próprio solvente (Amorim et al., 2008). As análises dos extratos foram realizadas para determinação do teor de fenóis totais pelo método Folin-Ciocalteu e taninos totais pelo método de precipitação da caseína (Amorim et al., 2008), sendo que pequenas alterações no protocolo foram realizadas no intuito de adequar os métodos à espécie de estudo. Além disso, a quantificação dos extratos foi realizada em triplicata sendo os valores expressos em mg/100 g MS, tanto para fenóis quanto taninos totais.

O preparo da solução-padrão, usada na construção da curva de calibração, consistiu na transferência de cinco alíquotas de 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mL de ácido tânico (Sigma-Aldrich®) na concentração de 0,5 g/500 mL para balões volumétricos de 100 mL, contendo 5 mL do reagente Folin-Ciocalteu 10% v/v (Sigma-Aldrich®), 1,062 g de carbonato de sódio (Sigma-Aldrich®) e água destilada para completar o volume. A solução foi agitada e mantida em repouso por 30 minutos em temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Em seguida, a absorbância das amostras foi lida em espectrofotômetro (GeneQuant®1300) a 760 nm usando cubeta de quartzo. Água destilada foi utilizada como solução-branco para calibrar (zerar) o equipamento (Amorim et al., 2008). A linearidade da reação foi constatada através do coeficiente de determinação da curva ($y=0,0428x+0,528$ e $R^2=0,9914$).

O método Folin-Ciocalteu consistiu em adicionar 0,5 mL do extrato bruto em um balão volumétrico de 100 mL contendo 50 mL de água destilada, acrescentando em seguida 5 mL do reagente Folin-Ciocalteu 10% v/v, 1,062 g de carbonato de sódio e água destilada para completar o volume. A solução foi agitada adequadamente e, após serem mantidas em repouso por 30 minutos em temperatura ambiente e ao abrigo da luz, a absorbância das amostras foi lida em espectrofotômetro a 760 nm, usando cubeta de quartzo (Amorim et al., 2008).

O teor de taninos totais foi determinado pelo método de precipitação da caseína, no qual consistiu em adicionar, em um erlenmeyer de 50 mL, 1,0 g de caseína em pó (Dinamica®), 6 mL do extrato vegetal e 12 mL de água destilada. Após três horas de agitação constante em temperatura ambiente, as amostras foram filtradas para um balão de 25 mL e o volume foi completado com água destilada. Alíquotas de 3,0 mL dessa solução foram transferidas para um

balão de 100 mL e os fenóis residuais determinados pelo método Folin-Ciocalteu. A quantidade de taninos totais correspondeu à diferença entre o valor de fenol total e residual (Amorim et al., 2008).

2.4. Análise dos dados

O teste de Shapiro-Wilk e o teste de Bartlett foram utilizados a fim de analisar, respectivamente, a normalidade e a homocedasticidade dos dados. A partir disso, aplicou-se o teste paramétrico de Análise de Variância (ANOVA) para comparar as médias dos teores de compostos fenólicos, para cada parte vegetal, entre as parcelas com diferentes valores de pluviosidade, no qual foi complementado com o teste a posteriori de Tukey para verificar diferença significativa entre as médias. Além disso, o teste T de Student foi empregado para evidenciar diferenças entre cascas e folhas, para cada metabólito por parcela. Todas as análises foram realizadas no software R 3.6.2. (R CORE TEAM, 2019) a nível de 95% de confiança ($\alpha = 0,05$) usando o pacote estatístico Agricolae (Mendiburu, 2017).

3. Resultados

Observamos que os valores médios dos teores de fenóis e taninos totais apresentaram variação significativa ($p < 0,05$) entre as partes vegetais nas parcelas coletadas, mostrando que as folhas de *C. microphyllum* concentraram maiores teores de fenóis e taninos totais quando comparados às cascas (Tab. 1).

Ao relacionar os compostos fenólicos às parcelas com diferentes pluviosidades, constatamos que tanto os fenóis quanto os taninos totais não foram diretamente proporcionais à precipitação, uma vez que os maiores valores dos metabólitos foram obtidos na parcela com 705 mm de precipitação, diferenciando significativamente das parcelas A, B e D ($p < 0,05$) (Tab. 1).

Tabela 1. Teor médio de fenóis e taninos totais seguidos do desvio-padrão ($\bar{X} \pm SD$) em cascas de caule e folhas de *Cenostigma microphyllum* (Mart. ex G. Don) E. Gagnon & G. P. Lewis, coletadas em quatro parcelas com diferentes pluviosidades no Parque Nacional do Catimbau, PE - Brasil

Parcela	Coordenadas	Precipitação (mm)	Fenol Total (mg/100 g MS)		Tanino Total (mg/100 g MS)	
			Casca	Folha	Casca	Folha
A	8°27'56.876" S; 37°19'33.38" W	555	31,78 $\pm$ 0,88b ²	36,13 $\pm$ 0,13b ¹	21,63 $\pm$ 0,50b ²	27,90 $\pm$ 0,25bc ¹
B	8°28'9.228" S; 37°19'52.471" W	564	24,22 $\pm$ 0,41c ²	39,22 $\pm$ 2,43b ¹	16,68 $\pm$ 0,60b ²	22,90 $\pm$ 1,60c ¹
C	8°29'59.446" S; 37°19'6.953" W	705	41,68 $\pm$ 0,82a ¹	51,18 $\pm$ 0,46a ¹	31,23 $\pm$ 2,62a ¹	45,78 $\pm$ 0,64a ¹
D	8°30'12.895" S; 37°18'42.21" W	755	23,08 $\pm$ 0,30c ²	38,40 $\pm$ 2,27b ¹	17,70 $\pm$ 0,06b ²	32,47 $\pm$ 1,23b ¹

Médias seguidas de mesmas letras (colunas) e mesmos números (linhas) não diferem estatisticamente entre si a 5% de significância ($\alpha=0,05$)

4. Discussão

O resultado aponta que, para ambas as estruturas vegetais (cascas e folhas), a faixa ótima de produção dos fenóis e taninos totais está na parcela com 705 mm de pluviosidade, o que justifica a diminuição significativa nas demais parcelas de valores extremos. Sendo assim, este resultado não corrobora a Hipótese da Disponibilidade de Recurso (Coley et al., 1985) já que, considerando a predição dessa hipótese, esperava-se encontrar níveis de metabólitos maiores nas parcelas com menor disponibilidade de recurso hídrico. Além disso, os compostos fenólicos são considerados metabólitos altamente versáteis, capazes de responder prontamente às diferentes variações nas condições ambientais, como no caso da disponibilidade hídrica (Di Ferdinando et al., 2014). Alguns trabalhos, envolvendo espécies vegetais de hábito herbáceo cultivadas em volume moderado de irrigação, apresentaram respostas semelhantes, como Kamalizadeh et al. (2019), no qual apontaram que nas partes aéreas de *Dracocephalum moldavica* L. os níveis dos ácidos rosmarínico, clorogênico e *p*-cumárico foram elevados em fornecimento hídrico considerado intermediário, bem como o teor de ácido cafeico e de fenóis totais da parte aérea da erva-cidreira (*Melissa officinalis* L.) (Manukyan, 2011), enquanto em sálvia (*Salvia sinaloensis* Fernald) (Caser et al., 2018) e em três herbáceas do gênero *Achillea* (*A. filipendulina* Lam., *A. millefolium* L. e *A. nobilis* L.) (Gharibi et al., 2015) o aumento se deu nas taxas de fenóis e flavonoides totais foliares.

Por outro lado, a concentração desses compostos, que foram maior nas folhas do que nas cascas, também indica sua importante atuação na defesa contra herbívoros e patógenos, uma vez que as folhas funcionam como recurso de grande valor nutricional (por acumular, principalmente, carbono e nitrogênio) (Boudet et al., 2007; Lattanzio et al., 2007; Price, 1995).

Além disso, conforme sugere a Hipótese de Defesa Ótima, as plantas tendem a alocar compostos de defesa para as folhas, pois são órgãos de importante valor na síntese de metabólitos fotossintéticos, apresentam alto custo energético de produção e são vulneráveis à herbivoria. Essa resposta também foi observada por Monteiro et al. (2006) no qual, em suas coletas sazonais em fragmentos de Caatinga no município de Caruaru (PE - Brasil), foi observado que o teor de compostos tânicos em *Myracrodruon urundeuva* Allemão durante a estação seca foi maior nas folhas que nas cascas.

5. Conclusão

Os resultados apontam, pela primeira vez na literatura, o aumento dos compostos fenólicos em área onde o valor da precipitação não é extremo, sendo conduzido com uma espécie de hábito arbóreo em condição natural de clima semiárido. Além disso, estudos futuros relacionados a quantificação individual desses compostos e questões associadas à genética desta espécie são necessários para compreender com mais detalhes seu mecanismo de resposta à escassez hídrica.

Financiamento

Este estudo foi financiado, em parte, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro ao primeiro autor; ao PELD Catimbau, por permitir acesso às parcelas no qual o presente estudo foi realizado; à Thiago Henrique Napoleão e Carlos Eduardo Sales da Silva, membros do Laboratório de Bioquímica de Proteínas (BIOPROT), por ceder gentilmente o uso do espectrofotômetro; à Leonardo da Silva Chaves, pelo auxílio durante a coleta do material vegetal e à Paulo Henrique Santos Gonçalves, pelo suporte na obtenção dos dados de pluviosidade no software WorldClim.

Referências

- Albergaria, E.T.; Oliveira, A.F.M.; Albuquerque, U.P. The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. **South African Journal of Botany**. 2020. 131: 12-17
- Amorim, E.L.C.; Nascimento, J.E.; Monteiro, M.J.; Peixoto-Sobrinho, T.J.S.; Araújo, T.A.S.; Albuquerque, U.P. A simple and accurate procedure for the determination of tannin and flavonoid levels and some applications in ethnobotany and ethnopharmacology. **Functional Ecosystems and Communities**. 2008. 2: 88-94.
- Araújo, T.A.S.; Almeida e Castro, V.T.N.; Silva Solon, L.G.; Silva, G.A.; Almeida, M.G.; Costa, J.G.M.; Amorim, E.L.C.; Albuquerque, U.P. Does rainfall affect the antioxidant capacity and production of phenolic compounds of an important medicinal species? **Industrial Crops and Products**. 2015. 76: 550–556.
- Borchet, R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of Tropical Dry Forest trees. **Ecology**. 1994. 75(5): 1437–1449.
- Boudet, A.M. Evolution and current status of research in phenolic compounds. **Phytochemistry**. 2007. 68: 2722-2735.
- Collevatti, R.G.; Lima-Ribeiro, M.S.; Diniz-Filho, J.A.F.; Oliveira, G.; Dobrovolski, R.; Terribile, L.C. Stability of Brazilian seasonally dry forests under climate change: inferences for long-term conservation. **American Journal of Plant Sciences**. 2013. 4: 792–805.
- Coley, P.D.; Bryant, J.P.; Chapin, F.S. Resource availability and plant antiherbivore defense. **Science**. 1985. 230: 895–899.
- Di Ferdinando, M.; Brunetti, C.; Agati, G.; Tattini, M. Multiple functions of polyphenols in plants inhabiting unfavorable Mediterranean areas. **Environmental and Experimental Botany**. 2014. 103: 107-116.

Fernandes, M.F.; Cardoso, D.; Queiroz, L.P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**. 2019. 1-8

FICK, S.E.; HIJIMANS, R.J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**. 2017. 37: 4302-4315.

Gagnon, E.; Bruneau, A.; Hughes, C.E.; Queiroz, L.P.; Lewis, G.P. A new generic system for the pantropical *Caesalpinia* group (Leguminosae). **PhytoKeys**. 2016. 71: 1–160.

Gharibi, S., Saeidi, G., Goli, S.A.H. Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. 2015. 178: 796–809.

Gomes, S.E.V.; Oliveira, G.M.; Araújo, M.N.; Seal, C.E.; Dantas, B.F. Influence of current and future climate on the seed germination of *Cenostigma microphyllum* (Mart. ex G. Don) E. Gagnon & G.P. Lewis. **Folia Geobotanica**. 2019.

Hernández, I.; Alegre, L.; Munné-Bosch, S. Enhanced oxidation of flavan-3-ols and proanthocyanidin accumulation in water-stressed tea plants. **Phytochemistry**. 2006. 67: 1120-1126.

[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019. **Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. IPCC.

Kamalizadeh, M.; Bihamta, M.; Zarei, A. Drought stress and TiO₂ nanoparticles affect the composition of different active compounds in the Moldavian dragonhead plant. **Acta Physiologiae Plantarum**. 2019. 41: 21.

Lattanzio, V.; Lattanzio, V.M.T.; Cardinali, A. Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. In: Imperato, F (Ed.) **Phytochemistry: Advances in Research**. Kerala: Research Signpost. 2006. pp. 23-67.

Manukyan, A. Effect of growing factors on productivity and quality of lemon catmint, lemon balm and sage under soilless greenhouse production: I. Drought stress. **Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology**. 2011. 5 (2): 119–125.

McKiernan, A.B., Hovenden, M.J., Brodribb, T.J., Potts, B.M., Davies, N.W., O'Reilly-Wapstra, J.M. Effect of limited water availability on foliar plant secondary metabolites of two *Eucalyptus* species. **Environmental and Experimental Botany**. 2014. 105(1): 55-64.

Mendiburu, F. 2017. **Agricolae**: Statistical Procedures for Agricultural Research.

Monteiro, J.M.; Albuquerque, U.P.; Neto, E.M.F.L.; Araújo, E.L.; Albuquerque, M.M.; Amorim, E.L.C. The effects of seasonal climate changes in the Caatinga on tannin levels in *Myracrodruon urundeuva* (Engl.) Fr. All. and *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. 2006. 16(3): 338-344.

Mori, S.A.; Mattos-Silva, L.A.; Lisboa, G.; Coradin, L. **Manual de Manejo de Herbário Fanerogâmico**. 1989. 2ª ed. Ilhéus. Centro de Pesquisas do Cacau.

Peixoto-Sobrinho, T.J.S.; Cardoso, K.C.M.; Gomes, T.L.B; Albuquerque, U.P.; Araújo, E.L. Análise da pluviosidade e do efeito de borda sobre os teores de flavonoides em *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud., Fabaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. 2009. 19(3): 740-745

Pennington, R.T.; Lavin, M.; Oliveira-Filho, A. Plant diversity, evolution and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual Review of Ecology Evolution and Systematics**. 2009. 40: 437–457.

Price, P.W.; Diniz, I.R.; Morais, H.C.; Marques, E.S.A. The abundance of insect herbivore species in the tropics: the high local richness of rare species. **Biotropica**. 1995. 27(4): 468-478.

Queiroz, L.P.; Cardoso, D.; Fernandes, M.F.; Moro, M.F. Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga Domain. In: Silva, J.M.C.; Leal, I.R.; Tabarelli, M. (Eds.).

Caatinga: the Largest Tropical Dry Forest Region in South America. Springer. 2017. pp. 23–63.

Ripple, W.J.; Wolf, C.; Newsome, T.M.; Barnard, P.; Moomaw, W.R. World Scientists' Warning of a Climate Emergency. **BioScience**. 2019. 70: 8-12

R CORE TEAM (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Rito, K.F.; Arroyo-Rodríguez, V.; Queiroz, R.T.; Leal, I.R.; Tabarelli, M. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Ecology**. 2017. 105: 828-838.

Santos, M.G.; Oliveira, M.T.; Figueiredo, K.V.; Falcão, H.M.; Arruda, E.C.P.; Almeida-Cortez, J.; Sampaio, E.V.S.B.; Ometto, J.P.H.B.; Menezes, R.S.C.; Oliveira, A.F.M.; Pompelli, M.F.; Antonino, A.C.D. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate change? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**. 2014. 26: 83–99.

Siqueira, C.F.Q.; Cabral, D.L.V; Peixoto-Sobrinho, T.J.S.; Amorim, E.L.C.; Melo, J.G.; Araújo, T.A.S.; Albuquerque, U.P. Levels of tannins and flavonoids in medicinal plants: evaluating bioprospecting strategies. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**. 2012.

Vieira, R.M.S.P.; Tomasella, J.; Alvalá, R.C.S.; Sestini, M.F.; Affonso, A.G.; Rodriguez, D.A.; Barbosa, A.A.; Cunha, A.P.M.A.; Valles, G.F.; Crepani, E.; De Oliveira, S.B.P.; De Souza, M.S.B.; Calil, P.M.; De Carvalho, M.A.; Valeriano, D.M.; Campello, F.C.B.; Santana, M.O.

Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian Northeast. **Solid Earth**. 2015. 6: 347–360.

4 CONCLUSÃO

A ideia amplamente aceita de que há aumento generalizado dos compostos fenólicos em resposta ao estresse hídrico é, na maioria das vezes, incoerente.

Uma vez que a maior parte dos estudos têm sido conduzidos com espécies herbáceas cultivadas em casa de vegetação, percebe-se que há lacunas referentes à composição de fenólicos em espécies arbóreas e arbustivas sob diferentes condições ecofisiológicas em ambiente natural.

Alguns fatores como tempo de exposição e volume de água fornecida às plantas servem como principais moduladores da resposta dos metabólitos vegetais ao agente estressante.

De maneira inédita, os compostos fenólicos sofreram aumento em área onde o valor da precipitação não foi extremo, sendo este conduzido com uma espécie de hábito arbóreo (*C. microphyllum*) e em condição natural de clima semiárido. Com isso, estudos futuros relacionados a quantificação individual desses compostos e questões associadas à genética desta espécie são necessários para compreender melhor o seu mecanismo de resposta à escassez hídrica.

ANEXO A – NORMAS PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA SOUTH AFRICAN JOURNAL OF BOTANY



SOUTH AFRICAN JOURNAL OF BOTANY

An International Interdisciplinary Journal for Plant Sciences

AUTHOR INFORMATION PACK

TABLE OF CONTENTS

• Description	p.1
• Audience	p.1
• Impact Factor	p.1
• Abstracting and Indexing	p.2
• Editorial Board	p.2
• Guide for Authors	p.4



ISSN: 0254-6299

DESCRIPTION

The *South African Journal of Botany* publishes original papers that deal with the classification, biodiversity, morphology, physiology, molecular biology, ecology, biotechnology, **ethnobotany** and other botanically related aspects of species that are of importance to **southern Africa**. Manuscripts dealing with significant new findings on other species of the world and general **botanical** principles will also be considered and are encouraged.

Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click here for more information on our [author services](#).

Please see our [Guide for Authors](#) for information on article submission. If you require any further information or help, please visit our [Support Center](#)

AUDIENCE

Plant biochemists, physiologists, molecular biologists, taxonomists, ecologists and ethnobotanists

IMPACT FACTOR

2018: 1.504 © Clarivate Analytics Journal Citation Reports 2019

ANEXO B – NORMAS PARA PUBLICAÇÃO NA REVISTA JOURNAL OF ARID ENVIRONMENTS

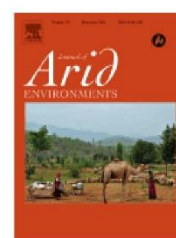


JOURNAL OF ARID ENVIRONMENTS

AUTHOR INFORMATION PACK

TABLE OF CONTENTS

• Description	p.1
• Impact Factor	p.1
• Abstracting and Indexing	p.1
• Editorial Board	p.2
• Guide for Authors	p.3



ISSN: 0140-1963

DESCRIPTION

The Journal of Arid Environments is an international journal publishing original scientific and technical research articles on physical, biological and cultural aspects of **arid**, **semi-arid**, and **desert environments**. As a forum of multi-disciplinary and interdisciplinary dialogue it addresses research on all aspects of arid environments and their past, present and future use.

Research Areas include: **Paleoclimate** and **Paleoenvironments** **Climate** and Climate Change **Hydrological processes** and systems **Geomorphological processes** and systems **Soils** (physical and biological aspects) **Ecology** (Plant and Animal Sciences) **Anthropology** and **human ecology** (archaeology, sociology, ethnobotany, human adaptations, etc. Agriculture Land use grazing, mining, tourism, etc) **Land use** (agronomy, grazing, mining, tourism, etc) **Conservation** (theory, policy, sustainability, economics, heritage) **Land degradation** (desertification) and rehabilitation **Environmental monitoring** and management

Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click here for more information on our [author services](#).

Please see our [Guide for Authors](#) for information on article submission. If you require any further information or help, please visit our [Support Center](#)

IMPACT FACTOR

2018: 1.825 © Clarivate Analytics Journal Citation Reports 2019

ABSTRACTING AND INDEXING

Scopus
Science Citation Index Expanded
Science Citation Index