

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE DOUTORADO**

**AVALIAÇÃO DA ÉPOCA DE PLANTIO E DO ESTRESSE
POR ALUMÍNIO EM *Physalis angulata* L.**

CLAUDIA BRITO DE ABREU

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
JULHO - 2019**

**AVALIAÇÃO DA ÉPOCA DE PLANTIO E DO ESTRESSE POR
ALUMÍNIO EM *Physalis angulata* L.**

CLAUDIA BRITO DE ABREU

Engenheira Agrônoma

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2013

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Fitotecnia).

Orientador: Prof. Dr. Fabio de Souza Dias

Coorientadora: Profa. Dra. Manuela Oliveira de Souza

Coorientador: Prof. Dr. André Dias de Azevedo Neto

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

JULHO- 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

A162a Abreu, Claudia Brito de.
Avaliação da época de plantio e do estresse por alumínio em *Physalis angulata* L. / Claudia Brito de Abreu. Cruz das Almas, BA, 2019.
103f.; il.

Orientador: Fabio de Souza Dias.
Coorientadora: Manuela Oliveira de Souza.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas.

1. *Physalis angulata* L. – Cultivo. 2. *Physalis angulata* L. – Alumínio – Análise. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Azevedo Neto, André Dias de. III. Título.

CDD: 581.1

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas – UFRB.
Responsável pela Elaboração – Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário – CRB5 / 1615).
Os dados para catalogação foram enviados pela usuária via formulário eletrônico.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE DOUTORADO**

**AVALIAÇÃO DA ÉPOCA DE PLANTIO E DO ESTRESSE POR
ALUMÍNIO EM *Physalis angulata* L.**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE
CLAUDIA BRITO DE ABREU**

Realizada em 31 de Julho de 2019

Prof. Dr. Fabio de Souza Dias
Universidade Federal da Bahia - UFBA
Examinador Interno (Orientador)

Prof. Dr. Alailson Falcão Dantas
Universidade Federal da Bahia - UFBA
Examinador Externo

Profa. Dra. Andréia da Silva Magaton
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinador Externo

Profa. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinador Externo

Dra. Samira Maria Peixoto Cavalcante da Silva
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinador Externo

Ao meu pai Carlos (*in memoriam*) pelo amor que teve por mim.

OFEREÇO

A **Deus**, por me dar o dom da vida e a minha mãe **Erotilde**, pelo amor incondicional e pela presença constante na minha caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pelo milagre da vida, por me conceder saúde, força, fé e coragem para que eu pudesse concluir mais uma etapa da minha vida acadêmica. E por me mostrar sempre o caminho que devo seguir. “Tudo posso naquele que me fortalece” (Filipenses 4:13).

A minha mãe Erolde pelo amor, carinho, orações, dedicação e confiança. Estando sempre ao meu lado nessa caminhada. A minha irmã Elian, pela força e confiança depositadas em mim. Ao meu esposo Jorge Neto, pela compreensão e amor. Amo vocês!

Ao meu orientador e professor, Prof. Dr. Fabio de Souza Dias, pelos quatro anos de orientação, pela paciência, ensinamentos e dedicação durante o desenvolvimento da pesquisa.

A minha coorientadora, Profa. Dra. Manuela Oliveira de Souza, pelo apoio na pesquisa, dúvidas esclarecidas, incentivo e dedicação.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. André Dias de Azevedo Neto, pelo incentivo, ensinamentos, confiança e colaboração no experimento em casa de vegetação e nas análises bioquímicas.

Ao Laboratório de Automação e instrumentação Analítica (LAIA) em especial a Marcos e a Cindy por estarem presentes na coleta e análises do meu experimento. E aos técnicos e amigos do laboratório, Fabricio pela colaboração no primeiro capítulo da tese e a Candice pela ajuda nas leituras das análises químicas.

Ao Laboratório de Bioquímica da UFRB, em especial ao meu amigo Petterson e Alide, pelo apoio no uso de equipamentos e reagentes no laboratório.

Ao laboratório de Física do Solo da UFRB, em especial ao funcionário Ailton e ao Prof. Dr. Luciano Silva Sousa, pelo acompanhamento nas análises físicas do solo.

A equipe da Fazenda Experimental da UFRB, pelo suporte para condução do experimento da *Physalis* em campo experimental durante as duas épocas de plantio. E ao professor Zé Carlos pela ajuda na interpretação da análise química do solo.

Aos amigos, Silvane, Uasley, Aline e Jain que sempre que precisei mostraram se presentes. E ao bolsista de iniciação científica Grael, pela ajuda com as plantas no campo.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-PPGCAGR, pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias-UFRB.

Ao corpo de professores do Programa de Ciências Agrárias-UFRB, pelos conhecimentos adquiridos. A Deyse, secretária do Programa de Ciências Agrárias-UFRB, pela atenção e dúvidas esclarecidas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo para o desenvolvimento da pesquisa de tese.

A comissão examinadora da defesa de tese, pela contribuição no presente trabalho.

Aos familiares e amigos que direta ou indiretamente torceram por mim.

Enfim, agradeço a todos, pois sem a contribuição de vocês nada disso seria possível.

Muito Obrigada!

“Agradecer é admitir que houve um minuto em que se precisou de alguém. Agradecer é reconhecer que o homem jamais poderá lograr para si o dom de ser auto-suficiente.” (Autor desconhecido).

SUMÁRIO

Página

RESUMO

ABSTRACT

REFERENCIAL TEÓRICO1

ARTIGO 1

CRESCIMENTO E AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM *Physalis angulata* L. CULTIVADAS EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS NO RECÔNCAVO DA BAHIA, BRASIL23

ARTIGO 2

CRESCIMENTO, TEORES DE SOLUTOS ORGÂNICOS E CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA EM *Physalis angulata* L. SOB ESTRESSE POR ALUMÍNIO46

ARTIGO 3

AVALIAÇÃO NUTRICIONAL EM *Physalis angulata* L., SOB ESTRESSE POR ALUMÍNIO.....66

CONSIDERAÇÕES FINAIS92

ANEXOS94

AVALIAÇÃO DA ÉPOCA DE PLANTIO E DO ESTRESSE POR ALUMÍNIO

EM *Physalis angulata* L.

Autora: Claudia Brito de Abreu

Orientador: Prof. Dr. Fabio de Souza Dias

RESUMO: No primeiro capítulo, o objetivo foi avaliar o crescimento e a produção de compostos fenólicos em *P. angulata* L. em dois períodos diferentes no Recôncavo da Bahia, Brasil. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizado, em campo experimental. Para obtenção de frutos, *Physalis* deve ser cultivada no período de abril a junho. Entretanto, a concentração de bioativos foi maior no período de dezembro a fevereiro. No segundo capítulo, o objetivo foi avaliar o efeito dos níveis crescentes de Al^{3+} sobre o crescimento, teores de solutos orgânicos e conteúdo relativo de água em *P. angulata*. Assim, as plantas foram cultivadas por 30 dias em cinco concentrações de alumínio na solução nutritiva (0; 0,04; 0,08; 0,12 ou 0,16 $mmol L^{-1}$), na forma de $AlCl_3$, com quatro repetições, em delineamento inteiramente casualizado, em casa de vegetação. O estresse de 0,16 $mmol L^{-1}$ de Al^{3+} reduziu as massas secas das folhas, caule, raízes, parte aérea e total. Quanto aos solutos orgânicos, o Al^{3+} aumentou os teores de aminoácidos livres e prolina nas folhas e os de carboidratos solúveis, proteínas solúveis e prolina nas raízes. *P. angulata* é tolerante até o nível de 0,16 $mmol L^{-1}$ de Al^{3+} no meio de cultivo. Houve o ajustamento osmótico nas plantas sob estresse por Al^{3+} . Os teores de prolina nas folhas e raízes, os de aminoácidos livres nas folhas e os de proteínas solúveis nas raízes podem ser utilizados como indicadores bioquímicos da tolerância ao Al^{3+} em *P. angulata*. No terceiro capítulo, o objetivo foi analisar a nutrição mineral de *Physalis* sob estresse por Al^{3+} em solução nutritiva. O estresse de 0,16 $mmol L^{-1}$ de Al^{3+} aumentou os teores de P nos caules e raízes e os teores de K, Cu e Mo em todas as partes das plantas. Em contraste, o Al^{3+} reduziu os teores de Ca, Mg, Fe e Zn em *P. angulata*. A maior redução foi observada para Fe, e Zn nas folhas. As raízes apresentaram os maiores teores de alumínio. Houve a separação dos tratamentos em 4 grupos. As variáveis cálcio, cobre, ferro e fósforo foram as mais influentes demonstradas pela análise de componentes principais (PCA).

Palavras-chave: Cultivo, camapu, compostos fenólicos, Al^{3+} , nutrição mineral, solutos orgânicos, conteúdo relativo de água, tolerância.

EVALUATION OF PLANTING TIME AND ALUMINUM STRESS IN *Physalis angulata* L.

Author: Claudia Brito de Abreu
Adviser: Prof. Dr. Fabio de Souza Dias

ABSTRACT: In the first chapter, the objective was to evaluate the growth and production of phenolic compounds in *P. angulata* L. in two different periods in Reconcavo da Bahia, Brazil. The experimental design was completely randomized blocks in experimental field. To obtain fruits, *Physalis* must be cultivated from April to June. However, the bioactive concentration was higher from December to February. In the second chapter, the objective was to evaluate the effect of increasing Al^{3+} levels on growth, organic solute contents and relative water content in *P. angulata*. Thus, the plants were cultivated for 30 days in five concentrations of aluminum in the nutrient solution (0; 0.04; 0.08; 0.12 or 0.16 mmol L^{-1}) as AlCl_3 with four replications, in a completely randomized design, in a greenhouse. Stress of 0.16 mmol L^{-1} Al^{3+} reduced dry mass of leaves, stem, roots, shoot and total. As for organic solutes, Al^{3+} increased the levels of free amino acids and proline in leaves and those of soluble carbohydrates, soluble proteins and proline in roots. *P. angulata* is tolerant to the level of 0.16 mmol L^{-1} Al^{3+} in the culture medium. There was osmotic adjustment in plants under stress by Al^{3+} . Leaf and root proline content, free leaf amino acid content and root soluble protein content can be used as biochemical indicators of Al^{3+} tolerance in *P. angulata*. In the third chapter, the objective was to analyze the mineral nutrition of *Physalis* under stress by Al^{3+} in nutrient solution. Stress of 0.16 mmol L^{-1} of Al^{3+} increased the P content in the stems and roots and the K, Cu and Mo content in all parts of the plants. In contrast, Al^{3+} reduced the levels of Ca, Mg, Fe and Zn in *P. angulata*. The largest reduction was observed for Fe, and Zn in the leaves. The roots presented the highest aluminum contents. The treatments were separated into 4 groups. The variables calcium, copper, iron and phosphorus were the most influential demonstrated by principal component analysis (PCA).

Keywords: Cultivation, camapu, phenolic compounds, Al^{3+} , mineral nutrition, organic solutes, relative water content, tolerance.

REFERENCIAL TEÓRICO

A espécie *Physalis angulata* L.

O nome do gênero *Physalis*, uma palavra grega, significa bexiga em referência ao cálice inflado dos frutos (KINDSHER et al., 2012). *Physalis* pertencente à família Solanaceae, considerada uma das maiores entre as Angiospermas, sendo a América do Sul um dos centros de diversidade e endemismo (HUNZIKER, 2001; SOUZA e LORENZI, 2005). Essa família inclui uma ampla variedade de plantas econômica e farmacologicamente importante (TOMASSINI et al., 2000).

No Brasil são conhecidas 11 espécies (D'ARCY et al., 2005), distribuídas em várias regiões do país, especialmente na Amazônia e no Nordeste, onde são encontradas 6 espécies (SOUZA et al., 2011).

Physalis angulata L., (Figura 1) popularmente conhecida como camapu, mullaca ou juá-de-capote (SOUZA et al., 2010) é uma espécie comestível e medicinal (COBALEDA-VELASCO et al., 2017), herbácea, de reprodução autógama, ereta medindo entre 40 a 70 cm de altura (LORENZI e MATOS, 2008). Quando conduzida por tutoramento, pode alcançar dois metros, sendo uma planta anual propagada por sementes (SOUZA et al., 2010).



Figura 1. *Physalis angulata* no primeiro experimento a campo na fazenda experimental da UFRB, campus de Cruz das Almas, Bahia. **Foto:** Arquivo do autor.

Pode ser encontrada em quase todo território brasileiro e na Bahia, existem registros em Seabra, Água Quente, Mucugê e Rio de Contas (MATOS, 2000).

Physalis angulata é amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais do mundo (RATHI et al., 2017).

O caule é ereto com formato triangular na base e na parte superior quadrangular, de coloração verde claro (SILVA e AGRA, 2005). Suas folhas são pubescentes, alternas, formato obovada a ovada lanceolado ou amplamente ovalada a estreita elíptica (GONEM et al., 2000; SILVA e AGRA, 2005).

As flores são solitárias, cálice é soldado até a metade, permanente nos frutos, a corola é gamopétala amarela, anteras são azuladas ou violetas, dorsifixas (GONEM et al., 2000; SILVA e AGRA, 2005), com até 2,5 mm de comprimento e são suportadas em hastes de até 5 mm de comprimento (RATHI et al., 2017).

Os frutos de *Physalis* (Figura 2) são pequenos e arredondados, com coloração amarelo-alaranjado quando maduros e envolvidos por sépalas em forma de balão (FREITAS e OSUÑA, 2006). Estes são bem apreciados devido ao sabor e seu teor nutricional, rico em vitaminas A e C, ferro e fósforo, apresentando também, flavonóides, alcalóides e fitoesteróides (RUFATO et al., 2008).

Santa Maria no Rio Grande do Sul está se tornando um pólo de cultivo desta fruta, correspondendo por 70% da exportação de frutas de *Physalis angulata* deste País (LISSNER e VELA, 2009). Segundo o mesmo autor, o preço dos frutos de *P. angulata* nos supermercados pode passar de 50 reais o quilo. No varejo paulista, a embalagem de 80 gramas de *Physalis* importada custa de 8 a 10 reais (MOSCHETTO, 2018).



Figura 2. Frutos de *Physalis angulata* sem e com sépalas, respectivamente.

Foto: Arquivo do autor.

Physalis angulata possui sementes ortodoxas, isto é, tolerantes à secagem até níveis baixos de água (SOUZA et al., 2014). As sementes (Figura 3) são elípticas e achatadas, castanho-alaranjadas quando completamente maduras e esbranquiçadas quando ainda imaturas, apresentando em média 1,55 mm de comprimento, 1,26 mm de largura e 0,43 mm de espessura (SOUZA et al., 2010).



Figura 3. Sementes de *Physalis angulata*. **Foto:** Arquivo do autor.

O cultivo de *Physalis angulata* é bastante rentável e pode ser cultivado em pequenas áreas, sendo uma ótima fonte de renda para os agricultores familiares (LISSNER e VELA, 2009). *Physalis angulata* cultivada no município de Feira de Santana, Bahia necessitou de 35, 48 e 64 dias após a semeadura (DAS) para atingir o início de botões florais, início de flores abertas e surgimento de frutos, respectivamente, quando semeadas no mês de abril (TANAN, 2015). Período próximo ao realizado nesse trabalho. As recomendações para o cultivo da *Physalis* são as mesmas recomendadas para a cultura do tomate (RUFATO et al., 2008).

P. angulata, também é uma espécie muito utilizada na medicina popular devido à presença das fisalinas (Figura 4), que ocorre naturalmente em isolados de caules e folhas, popularmente utilizados para tratar doenças inflamatórias, como dor de garganta, reumatismo, hepatite e cervicite (BASTOS et al., 2008), e também como anticoagulante, antileucêmico e antimutagênico (FREITAS et al., 2006). As fisalinas são derivados esteroidais do tipo 13,14-seco-16,24 ciclo ergostano, carbonilados em C-15 (TOMASSINI et al., 2000).

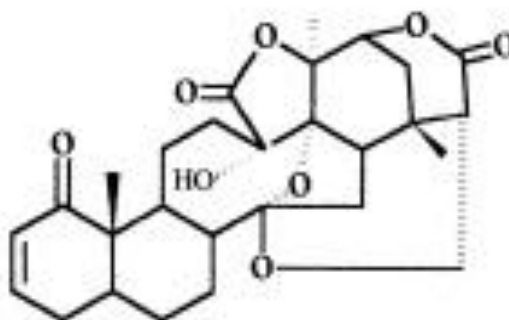


Figura 4. Estrutura química da fisalina. **Fonte:** TOMASSINI et al. (2000).

Diversos autores (VIEIRA et al., 2005; MAGALHÃES et al., 2006; SOARES et al., 2006; DAMU et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2009), já documentaram os efeitos anti-inflamatórios e imunomoduladores das fisalinas B, D, F e G. Assim, o número de evidências relacionadas aos efeitos biológicos dos extratos vegetais tem aumentado constantemente (KUSUMANINGTYAS et al., 2015).

Physalis angulata apresentou atividade antitripanossômica in vitro contra *Trypanosoma brucei rhodesiense*, protozoário flagelado que causa a doença do sono (FREIBURGHAUS et al., 1996). Mais estudos envolvendo atividade de *P. angulata* contra vetores, também foram reportados por Santos et al. (2003), no qual observaram que os extratos de *P. angulata* apresentaram atividade moluscicida, que é o controle do caracol que transmite a esquistossomose. O mesmo autor relata também que as raízes de *P. angulata* são consumidas no Pará para o tratamento da malária.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), planta medicinal é todo e qualquer vegetal que possua, em um determinado órgão ou disperso por toda a planta, substâncias ativas capazes de conferir ação terapêutica. Essas substâncias ativas são conhecidas como princípio ativo. Dessa forma, a espécie tem sido alvo de muitos estudos na região Nordeste, principalmente pelo seu potencial medicinal, conservação e expressão diferencial de genes em sementes e plântulas submetidas a estresse abiótico (SOUZA et al., 2010; SOUZA et al., 2011; SOUZA et al., 2013; SOUZA et al., 2014).

Resposta das plantas ao estresse abiótico

Apesar de reconhecida como prejudicial às plantas, a indução de estresses vem sendo utilizada para modular a produção de metabólitos fisiologicamente importantes, sem os quais provavelmente, a planta não sobreviveria (FLOWERS, 2004; SAIRAM e TYAGI, 2004).

Dessa forma, as plantas em condições de estresse, iniciam algum mecanismo de defesa para se protegerem do efeito prejudicial do estresse oxidativo (DUDHANE et al., 2012). Um dos mecanismos será a alteração dos solutos orgânicos.

Os solutos orgânicos (carboidratos solúveis, aminoácidos livres, prolina livre e proteínas solúveis) são compostos bastante solúveis, de baixo peso molecular e que não apresentam toxicidade quando em elevadas concentrações no interior das células, sendo também referidos como solutos compatíveis ou osmólitos compatíveis (ASHRAF e FOOLAD, 2007). Eles atuam na homeostase iônica e na estabilização de macromoléculas e organelas, favorecendo a manutenção da integridade celular (BOHNERT e SHEN, 1999; BRAY et al., 2000).

O acúmulo desses compostos orgânicos osmoticamente compatíveis em condições de estresse reflete a capacidade de algumas espécies de realizarem a osmorregulação quando submetidas a condições adversas (SILVA et al., 2010a). O ajustamento osmótico é a primeira resposta fisiológica das plantas aos estresses ambientais, contribuindo como tolerância ao estresse (MARIN e SANTOS, 2008).

De acordo com Imadi et al. (2016) quando as plantas são expostas ao alumínio, a concentração de prolina nas folhas aumenta consideravelmente.

Em condições de estresses abióticos os vegetais tem o efeito potencial de alterar a concentração de compostos secundários (TAIZ e ZIEGER, 2009), sendo dependente da espécie, do tempo e da intensidade da condição estressante (ANDRADE e CASALI, 1999).

Os compostos fenólicos estão amplamente distribuídos no reino vegetal (MALACRIDA e MOTTA, 2005; ACHKAR et al., 2013) e possuem alto potencial antioxidante devido à capacidade de neutralizar e sequestrar radicais livres (ACHKAR et al., 2013). São substâncias secundárias do metabolismo das

plantas, atuando na reprodução e crescimento dos vegetais, ajudam no combate a patógenos, parasitas e predadores (BALASUNDRAM et al., 2006; LIU, 2006). São caracterizados pela presença de um ou mais anéis aromáticos com um ou mais grupos hidroxilas (LIU, 2006; MINATEL et al. 2017). Além de contribuir para as características organolépticas das frutas e vegetais (BALASUNDRAM et al., 2006).

A concentração dos compostos fenólicos pode aumentar ou diminuir quando as plantas estão submetidas a algum tipo de estresse biótico ou abiótico e outros processos importantes como fotossíntese, síntese de proteínas, produção de energia e metabolismo lipídico também são afetados por tais condições (FLEXAS et al. 2004; CHAVES et al., 2009).

No grupo dos compostos fenólicos, destacam-se os flavonóides e os ácidos fenólicos, sendo considerados os antioxidantes fenólicos mais comuns de fontes naturais (BROINIZI et al., 2007). Essa atividade antioxidante lhes permite agir como agentes redutores, doadores de hidrogênio e inibidores de oxigênio singlete (ATOUI et al., 2005).

Os flavonoides (Figura 5) são importantes na planta para o crescimento e desenvolvimento, protegendo-as contra infecções e lesões, também estão relacionados com a pigmentação de folhas, flores e frutos (GHARRAS, 2009). Além de possuir a capacidade de quelar íons de metais pesados (KULBAT, 2016).

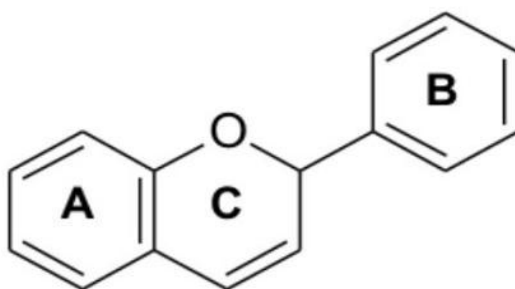


Figura 5. Estrutura química dos flavonoides. **Fonte:** ANGELO e JORGE (2007).

Benefícios dos compostos fenólicos para o homem

Para o homem, os compostos fenólicos mostram resultados promissores como poderosos antioxidantes, que protegem o corpo humano de radicais livres,

cuja formação está associada ao metabolismo normal das células aeróbicas (CARVALHO et al., 2014).

Os radicais livres causa reações de oxidação em sistemas biológicos, por possuir um elétron livre que pode se ligar a outro elétron de outro átomo, conferindo alta reatividade desses elementos e provocando a reação de oxidação (ACHKAR et al., 2013).

Os radicais livres são gerados constantemente devido ao metabolismo dos ingredientes alimentares, estresse físico e estresse oxidativo mediado por vários poluentes ambientais, produtos químicos, toxinas, radiação e outros (NIBIR et al., 2017).

Os radicais livres estão envolvidos em muitas condições patológicas, como diabetes, doenças neurodegenerativas, cardiovasculares, câncer, catarata, asma, artrite reumatóide, inflamação, doenças do trato intestinal, bem como no processo de envelhecimento (PHANIENDRA et al., 2015).

O consumo de alimentos ricos em compostos fenólicos, como chás, vinhos e frutos foi relacionado com a baixa incidência de doenças degenerativas (ACHKAR et al., 2013). Nas frutas, os compostos fenólicos são encontrados em maiores quantidades na polpa em relação ao suco (ANGELO e JORGE, 2007).

Assim, é muito importante o papel dos antioxidantes, pois são capazes de estabilizar ou desativar os radicais livres antes que estes ataquem células e alvos biológicos (ATOUI et al., 2005).

Alumínio no solo e toxicidade em plantas

O alumínio compõe mais de 7% da crosta terrestre, sendo o terceiro elemento mais abundante, logo após o oxigênio e silício (MA et al., 2001) e, em solos ácidos (pH < 5,0) é encontrado na forma solúvel (Al^{3+}), sendo tóxico para a maioria das plantas (HORST et al., 2010), pois é capaz de se ligar a parede celular, membrana plasmática e protoplasma (KOCHIAN et al., 2004).

A toxicidade por Al é uma limitação mundial de grande relevância para a produção agrícola (KOCHIAN et al., 2005). Estima-se que aproximadamente 30% da área com potencial para produção de alimentos do mundo seja coberta por solos ácidos (JONES e RYAN, 2017). Afetando a produção de alimentos básicos, particularmente grãos, diminuindo sua produção e vigor (GUPTA et al., 2013).

No Brasil, 60% dos solos são ácidos e possuem concentração de Al^{3+} que pode ser tóxica ao crescimento das raízes (FREITAS et al., 2017).

Assim, em muitos solos de várias regiões brasileiras, dentre estas a região Nordeste, os solos são considerados ácidos (CUNHA et al., 2014), pois 29,5% são Latossolos (MARQUES et al., 2014), apresentando teores reduzidos de cálcio e magnésio trocáveis, demonstrando com isso situações prejudiciais ao desenvolvimento das culturas (SOUSA e LOBATO, 2004).

Uma das estratégias mais comuns que corrige a acidez do solo é a aplicação de calcário agrícola (YANG et al., 2005), que eleva o pH a um nível em que o Al^{3+} não seja mais solúvel (JONES e RYAN, 2017). No entanto, o uso de calcário para o manejo de solos ácidos é muito oneroso ou leva muitos anos para ser eficaz, especialmente quando a acidez ocorre em profundidade (GUPTA et al., 2013).

Alguns cátions trivalentes em altas concentrações podem ser tóxicos para as plantas e, como a toxicidade do alumínio é restrita a condições ácidas, normalmente admite-se que o alumínio seja o principal elemento com efeito tóxico sobre as plantas (DELHAIZE et al., 1995).

De um modo geral, quantidades maiores que $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de alumínio podem causar efeito tóxico na planta, embora quantidades menores que esta na solução do solo também sejam tóxicas para espécies menos tolerantes ao alumínio (MALAVOLTA, 1980). Dessa forma, a concentração crítica de Al que é tóxico para a planta difere entre espécies de plantas (YANG et al. 2005), quanto entre cultivares indicando a necessidade de mais pesquisas nessa área (JESUS e AZEVEDO NETO, 2013). Segundo Roy et al. (1988), o alumínio entra na planta, movendo-se em células meristemáticas através do córtex, ignorando a barreira endodérmica.

Por ser um elemento pouco móvel dentro da planta (EPISTEIN, 1974), o primeiro e mais importante efeito da toxicidade do alumínio aparenta ser a inibição do crescimento radicular que pode se manifestar após poucos minutos de exposição ao metal (KOCHIAN et al., 2004), fato reportado por diversos autores (COLODETTI et al. 2012; SILVA, 2012; GUPTA et al. 2013; KOPITTKKE et al. 2015) em seus trabalhos de pesquisas.

O alumínio concentra preferencialmente no ápice radicular, indicado como sítio primário de sua ação inibitória (PANDA et al., 2009), e pode causar mudanças no desenvolvimento e na morfologia da raiz (JESUS e AZEVEDO NETO, 2013).

Após o contato mais prolongado das raízes das plantas ao alumínio, a toxidez se apresenta por meio de um conjunto de sintomas, que manifesta o efeito contínuo deste íon sobre o crescimento do sistema radicular, parte aérea e na absorção e aproveitamento de nutrientes (FAGERIA, et al., 1989).

O baixo crescimento do sistema radicular, afeta a absorção de nutrientes pelas raízes, prejudicando o desenvolvimento e o crescimento da planta (ZHENG, 2010), pois é resultado de uma exploração reduzida do solo (JONES e RYAN, 2017). O crescimento das raízes é a combinação da divisão celular e alongamento (SILVA, 2012).

As raízes em contato com o Al^{3+} tornam-se grossas e, em alguns casos, podem apresentar coloração de marrom a preto (DUDHANE et al., 2012), pobre ou nenhum desenvolvimento de pelos radiculares (KOCHIAN et al., 2005). O alumínio também afeta a área para a produção de citocininas que é essencial para o desenvolvimento dos ramos laterais da parte aérea (IMADI et al., 2016).

Por ser um cátion trivalente, o (Al^{3+}) é fortemente atraído por íons carregados negativamente na parede celular (HORST et al., 2010). Assim, o alumínio pode alterar as propriedades mecânicas e estruturais da parede celular, tornando-a mais rígida, levando a uma diminuição na extensibilidade mecânica necessária para a expansão celular normal (KOCHIAN et al., 2005), e que pode resultar na inibição do alongamento da raiz (HE et al., 2019).

Vários trabalhos reportam que a membrana plasmática é um dos alvos primários do efeito do Al^{3+} em nível celular (MERIGA et al., 2004), pois contém muitas cargas negativas fixas que podem se ligar ao Al^{3+} (JONES e RYAN, 2017).

Após a lesão da membrana plasmática, ocorre acúmulo de Al^{3+} no núcleo e em outras organelas (HE et al., 2019). Assim, o Al^{3+} interage com a membrana plasmática e pode causar o bloqueio de transportadores específicos de íons na raiz (PANDA et al., 2009). A absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} são normalmente os mais deprimidos pelo alumínio tóxico quando estes são comparados com outros minerais importantes (RENGEL e ROBINSON, 1989).

O cálcio possui importante função na formação da lamela média das células, na absorção de nutrientes (CONCEIÇÃO et al., 2008) e na expansão celular, especialmente nos pelos radiculares (JONES e RYAN, 2017). O magnésio é um componente da clorofila e é necessário para a fotossíntese e síntese de proteínas (HAWKESFORD et al., 2012).

Roy et al. (1988) também reportaram que o alumínio interfere na absorção, transporte e uso de outros elementos essenciais, incluindo Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Mn e Zn. Dessa forma, desequilíbrios nutricionais foram reportados por diversos autores (JANHUNEN et al., 1995; SILVA et al., 2010b; STEINER et al., 2012) em plantas cultivadas na presença de Al.

O grau de toxicidade relatado na literatura varia muito, dependendo das espécies de plantas, condições de crescimento, concentrações de Al^{3+} e duração da exposição (KOCHIAN et al., 2005; GUPTA et al., 2013).

Na literatura, os termos “resistência” e “tolerância” ao metal tóxico Al^{3+} são usados repetidamente na literatura como sinônimos, quando fazem referência a estresses abióticos, é importante afirmar que o termo “resistência” se refere a mecanismos que impedem a entrada de Al^{3+} na planta, enquanto o termo “tolerância” se refere a mecanismos que desintoxicam ou sequestram o Al^{3+} internamente (DELHAIZE et al., 2007).

Das duas principais estratégias de plantas para adaptação a condições adversas do solo, a estratégia de resistência é mais comum para adaptação a solos com minerais ácidos e como exemplos de resistências, temos o aumento do pH, a liberação de quelantes para complexar o Al^{3+} e o aumento da área superficial da raiz (MARSCHNER, 1991; SCHMITT et al., 2016).

Zhang et al. (2019) também reportaram que muitas plantas secretam ânions de ácidos orgânicos (malato, citrato e oxalato) da ponta da raiz em resposta ao estresse, impedindo que o alumínio tóxico entre nas células da ponta da raiz.

Mecanismos de tolerância permitem que as plantas lidem melhor com o Al, uma vez que ele entra nas células da raiz, seja sequestrado e depositado no vacúolo (JONES e RYAN, 2017).

Segundo Imadi et al. (2016), raiz de plantas tolerantes ao alumínio tem um crescimento muito intenso e vigoroso em comparação com plantas sensíveis ao alumínio.

A tese encontra-se dividida em três capítulos, que serão apresentados na forma de artigos científicos.

O primeiro capítulo publicado no periódico internacional Canadense Journal of Agricultural Science (JAS), corresponde o plantio de *P. angulata* em campo experimental da UFRB, em duas épocas distintas em Cruz das Almas, Bahia. Nesse capítulo foi avaliado o crescimento, fenóis totais, flavonóides totais e atividade antioxidante em plantas de *P. angulata*.

No segundo capítulo, as plantas de *P. angulata* foram cultivadas por 30 dias em níveis crescentes de alumínio (Al) na solução nutritiva, em casa de vegetação. Neste capítulo foi avaliado o crescimento, teores de carboidratos solúveis, aminoácidos livres, prolina livre, proteínas solúveis e conteúdo relativo de água.

As análises de macronutrientes e micronutrientes em folhas, caules e raízes em plantas de *Physalis angulata* sob estresse por alumínio foram realizadas no terceiro capítulo. Dessa forma, foi possível avaliar a toxicidade do alumínio na nutrição mineral das plantas de *Physalis*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHKAR, M.T.; NOVAES, G.M.; SILVA, M.J.D.; VILEGAS, W. Propriedade antioxidante de compostos fenólicos: importância na dieta e na conservação de alimentos. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 11, n. 2, p. 398-406, 2013.

ANDRADE, F.M.C.; CASALI, V.W.D. **Plantas medicinais e aromáticas: relação com o ambiente, colheita e metabolismo secundário**. 1. ed. Viçosa: UFV, 1999.

ANGELO, P.M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 206-216, 2007.

ATOUI, A.K.; MANSOURI, A.; BOSKOU, G.; KEFALAS, P. Tea and herbal infusions: Their antioxidant activity and phenolic profile. **Food Chemistry**, v. 89, n. 1, p. 27-36, 2005.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plant and agri-industrial byproducts: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v. 99, p. 191-203, 2006.

BASTOS, G.N.; SILVEIRA, A.J.; SALGADO, C.G.; PICANÇO-DINIZ, D.L.; NASCIMENTO, J.L. *Physalis angulata* extract exerts anti-inflammatory effects in rats by inhibiting different pathways. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 118, p. 246-251, 2008.

BOHNERT H.J.; SHEN, B. Transformation and compatible solutes. **Scientia Horticulturae**, v. 78, p. 237-260, 1999.

BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANA, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (eds), **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**, p. 1158-1203, 2000.

BROINIZI, P.R.B.; ANDRADE-WARTHA, E.R.S.; SILVA, A.M.O.; NOVOA, A.J.V.; TORRES, R.P.; AZEREDO, H.M.C.; ALVES, R.E.; MANCINI-FILHO, J. Avaliação da atividade antioxidante dos compostos fenólicos naturalmente presentes em subprodutos do pseudofruto de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 902-908, 2007.

CARVALHO, A.V.; MATTIETTO, R.A.; RIOS, A.O.; MORESCO, K.S. Mudanças nos compostos bioativos e atividade antioxidante de pimentas da região amazônica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 399-408, 2014.

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

COBALEDA-VELASCO, M.; ALANIS-BAÑUELOS, R.E.; ALMARAZ-ABARCA, N.; ROJAS-LÓPEZ, M.; GONZÁLEZ-VALDEZ, L.S.; ÁVILA-REYES, J.A.; RODRIGO, S. Phenolic profiles and antioxidant properties of *Physalis angulata* L. as quality indicators. **Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research**, v. 5, n. 2, p. 114-128, 2017.

COLODETTI, T.V.; RODRIGUES, W.N.; OLIVEIRA, F.L.; MARTINS, L.D.; TOMAZ, M.A. Efeito do alumínio na germinação e na morfologia radicular de cultivares de pepino. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 767-776, 2012.

CONCEIÇÃO, L.D.H.C.S.; SERENO, M.J.C.M.; BARBOSA NETO, J.F. Tolerância ao alumínio em plantas: toxicidade, mecanismos e genes em espécies cultivadas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 14, n. 3-4, p. 01-10, 2008.

CUNHA, G.O.M.; ALMEIDA, J.A.; BARBOZA, B.B. Relação entre o alumínio extraível com KCL e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1387-1401, 2014.

D'ARCY, W.; ROJAS, C.B.; NEE, M.H. Solanaceae, In: **Flora of the Venezuelas Guyana**, v. 9, p. 194-246. 2005.

DAMU, A.G.; KUO, P.-C.; SU, C.-R.; KUO, T.-H.; CHEN, T.-H.; BASTOW, K. F.; LEE, K.-H.; WU, T.-S. Isolation, structures, and structure–cytotoxic activity relationships of withanolides and physalins from *Physalis angulata*. **Journal of Natural Products**, v. 70, n. 7, p. 1146-1152, 2007.

DELHAIZE, E.; B.D. GRUBER.; P.R. RYAN. The roles of organic anion permeases in aluminum resistance and mineral nutrition. **FEBS Letters**, v. 581, n. 12, p. 2255-2262, 2007.

DELHAIZE, E.; RYAN P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, v. 107, p. 315-321, 1995.

DUDHANE, M.; BORDE, M.; JITE, P.K. Effect of Aluminium Toxicity on Growth Responses and Antioxidant Activities In *Gmelina arborea* Roxb. Inoculated with am Fungi. **International Journal of Phytoremediation**, v. 14, n. 7, p. 643-655, 2012.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1974. 335p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. The effects of aluminum on growth and uptake of Al and P by rice. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, p. 677-682, 1989.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T.D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, n. 3, p. 269-279, 2004.

FLOWERS, T.J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 307-319, 2004.

FREIBURGHAUS, F.; KAMINSKY, R.; NKUNYA, M.H.H.; BRUN, R. Evaluation of African medicinal plants for their in vitro trypanocidal activity. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 55, n. 1, p. 1-11, 1996.

FREITAS, L.B.; FERNANDES, D.M.; MAIA, S.C.M.; MAZZIERO, B.G. Aluminum in mineral nutrition of upland rice plants. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 26-34, 2017.

FREITAS, T.A.; OSUÑA, J.T.A. Efeito do substrato e da luminosidade na germinação de sementes de *Physalis angulata* L. (Solanaceae). **Sitientibus**, v. 6, n. 2, p. 101-104, 2006.

FREITAS, T.A.; RODRIGUES, A.C.C.; OSUNA, J.T.A. Cultivation of *Physalis angulata* L. and *Anadenanthera colubrina* [(Vell.) Brenan] species of the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 8, n. esp., p. 201-204, 2006.

GHARRAS, H.E.I. Polyphenols: food sources, properties and applications - a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 12, p. 2512-2518, 2009.

GONEM, O.; YILDIRIM, A.; UYUGUR, F.N.A. New Record for the Flora of Turkey *Physalis angulata* L. (Solanaceae). **Turkish Journal of Botany**, v. 24. p. 299-301, 2000.

GUIMARÃES, E.T.; LIMA, M.S.; SANTOS, L.A.; RIBEIRO, I.M.; TOMASSINI, T.B.; SANTOS, R.R.; SANTOS, W.L.; SOARES, M.B. Activity of physalins purified from *Physalis angulata* *in vitro* and *in vivo* models of cutaneous leishmaniasis. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 64, p. 84-87, 2009.

GUPTA, N.; GAURAV, S.S.; KUMAR, A. Molecular basis of aluminium toxicity in plants: a Review. **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, p. 21-37, 2013.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, S. I.; WHITE, P. **Functions of macronutrients**. In: Marschner, P. (ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. NewYork: Elsevier, 2012. cap. 6, p. 135-189.

HE, H.; LI, Y.; HE, L.-F. Aluminum toxicity and tolerance in Solanaceae plants. **South African Journal of Botany**, v. 123, p. 23-29, 2019.

HORST, W.J.; WANG, Y.; ETICHA, D. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. **Annals of Botany**, v. 106, p. 187-197, 2010.

HUNZIKER, A.T. **The genera of Solanaceae**. Ruggell, Germany: ARG Gantner Verlag KG. 500 p. 2001.

IMADI, S.R.; WASEEM, S.; KAZI, A.G.; AZOOZ, M.M.; AHMAD, P. Aluminum Toxicity in Plants. **Plant Metal Interaction**, p. 1-20, 2016.

JANHUNEN, S.; PALOMÄKI, V.; HOLOPAINEN, T. Aluminium causes nutrient imbalance and structural changes in the needles of Scots pine without inducing clear root injuries. **Trees**, v. 9, n. 3, p. 134-142, 1995.

JESUS, D.S.; AZEVEDO NETO, A.D. Aluminum Tolerance in Sunflower Plants Is Associated with Phosphorus Content in the Roots. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 22, p. 3423-3430, 2013.

JONES, D.L.; RYAN, P.R. Aluminum Toxicity. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, p. 211-218, 2017.

KINDSCHER K.; LONG, Q.; CORBETT, S.; BOSNAK, K.; LORING, H.; COHEN, M.; TIMMERMANN, B.N. The ethnobotany and ethnopharmacology of wild tomatillos, *Physalis longifolia* Nutt., and related *Physalis* species: A review. **Economic Botany**, v. 66, n. 3, p. 298- 310, 2012.

KOCHIAN L.V.; HOEKENGA O.A.; PIÑEROS M.A. How do crop plant tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review Plant Biology**, v. 55, n. 1, p. 459-493, 2004.

KOCHIAN, L.V.; PIÑEROS, M.A.; HOEKENGA, O.A. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminium resistance and toxicity. **Plant and Soil**, v. 274, n. 1-2, p. 175-195, 2005.

KOPITTKE, P.M.; MOORE, K.L.; LOMBI, E.; GIANONCELLI, A.; FERGUSON, B.J.; BLAMEY, F.P.; MENZIES, N.W.; NICHOLSON, T.M.; MCKENNA, B.A.; WANG, P.; GRESSHOFF, P.M. Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots. **Plant Physiology**, v. 167, n. 4, p. 1402-1411, 2015.

KULBAT, K. The role of phenolic compounds in plant resistance. **Biotechnology and Food Sciences**, v. 80, n. 2, p. 97-108, 2016.

KUSUMANINGTYAS, R.W.; LAILY, N.; LIMANDHA, P. Potential of Ciplukan (*Physalis angulata* L.) as Source of Functional Ingredient. **Procedia Chemistry**, v. 14, p. 367-372, 2015.

LISSNER, R.A.; VELA, H.A. Introdução do Cultivo de *Physalis* (*Physalis angulata* L.) de Base Agroecológica na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 645-648, 2009.

LIU, R.H. Health benefits of fruits: implications for disease prevention and health promotion. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 19, Cabo Frio. **Anais...** Cabo Frio: SBF/UENF/UFRuralRJ, v. 1, p. 36-44, 2006.

LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. Nova Odessa: São Paulo, Instituto Plantarum, 2008. 576 p.

MA, J.F.; RYAN, P.R.; DELHAIZE, E.; Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 6, p. 273-278, 2001.

MAGALHÃES, H.I.F.; VERAS, M.L.; PESSOA, O.D.L.; SILVEIRA, E.R.; MORAES, M.O.; PESSOA, C.; COSTA-LOTUFO, L.V. Preliminary investigation of structure-activity relationship of cytotoxic physalin. **Letters in Drug Design & Discovery**, v. 3, n. 1, p. 625-632. 2006.

MALACRIDA, C.R.; MOTTA, S. Compostos fenólicos totais e antocianinas em suco de uva. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 659-664, 2005.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARIN, A.; SANTOS, D.M.M. Interação da deficiência hídrica e da toxicidade do alumínio em guandu cultivado em hidroponia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 10, p. 1267-1275, 2008.

MARQUES, F.A.; NASCIMENTO, A.F.; ARAUJO FILHO, J.C.; SILVA, A.B. **Solos do nordeste**. Recife: Embrapa Solos, 2014. Disponível em:<
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114582/1/FOLDER-SOLOS-DO-NE-versao-final.pdf>>. Acesso em: 25 de setembro de 2019.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, v. 134, n. 1, p. 1-20, 1991.

MATOS, F.J.A. **Plantas Medicinais: guia de seleção e emprego de plantas usadas em fitoterapia no nordeste do Brasil**. 2 ed. Fortaleza: UFC, 2000. 344 p.

MERIGA, B.; REDDY, K.; RAO, K.R.; REDDY, L.A.; KISHOR, P.B.K. Aluminum-induced production of oxygen radicals, lipid peroxidation and DNA damage in seedlings rice (*Oryza sativa*). **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 1, p. 63-68, 2004.

MINATEL, I.O.; BORGES, C.V.; FERREIRA, M.I.; GOMEZ, H.A.G.; CHEN C.-Y. O.; LIMA, G.P.P. Phenolic Compounds: Functional Properties, Impact of Processing and Bioavailability. **Phenolic Compounds - Biological Activity**, 2017.

MOSCHETTO, A. Como plantar *Physalis*. **Revista Globo Rural**. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/como-plantar/noticia/2013/12/como-plantar-physalis.html>>. Acesso em: 18 de setembro de 2019.

NIBIR, Y. M.; SUMIT, A.F.; AKHAND, A.A.; AHSAN, N.; HOSSAIN, M.S. Comparative assessment of total polyphenols, antioxidant and antimicrobial activity of different tea varieties of Bangladesh. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 4, p. 352-357, 2017.

PANDA, S.K.; BALUSKA, F.; MATSUMOTO, H. Aluminum stress signaling in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 4, n. 7, p. 592–597, 2009.

PHANIENDRA, A.; JESTADI, D.B.; PERIYASAMY, L. Free Radicals: Properties, Sources, Targets, and Their Implication in Various Diseases. **Indian Journal of Clinical Biochemistry**, v. 30, n. 1, p. 11-26, 2015.

RATHI, V.; RATHI, J.C.; PATEL, K.; KANOJIA, S.S.S.; TAMIZHARASI, S. A comprehensive review of *Physalis angulata*. **World Journal of Pharmaceutical Research**, v. 6, n. 4, p. 1503-1512, 2017.

RENGEL, Z.; ROBINSON, D. L. Competitive Al^{3+} inhibition of net Mg^{2+} uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. I. Kinetics. **Plant Physiology**, v. 91, p. 1407-1413, 1989.

ROY, A.K.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. Aspects of aluminum toxicity in plants. **The Botanical Review**, v. 54, n. 2, p. 145-178, 1988.

RUFATO, L.; RUFATO, R.A.; SCHLEMPER, C.; LIMA, C.S.; KRETZSCHMARA, A. **Aspectos técnicos da cultura da *Physalis***. Lages, CAV/UEDESC; Pelotas: UFPel, 2008. 100 p.

SAIRAM, R.K.; TYAGI, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. **Current Science**, v. 86, n. 3, p. 407-421, 2004.

SANTOS, J.A.A.; TOMASSINI, T.C.B.; XAVIER, D.C.D.; RIBEIRO, I.M.; SILVA, M.T.G.; MORAIS FILHO, Z.B. Molluscicidal Activity of *Physalis angulata* L. Extracts and Fractions on *Biomphalaria tenagophila* (d'Orbigny, 1835) under Laboratory Conditions. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 98, n. 3, p. 425-428, 2003.

SCHMITT, M.; WATANABE, T.; JANSEN, S. The effects of aluminium on plant growth in a temperate and deciduous aluminium accumulating species. **AoB Plants**, 8, plw065, 2016.

SILVA, E.N.; FERREIRA-SILVA, S.L.; VIÉGAS, R.A.; SILVEIRA, J.A.G. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 3, p. 279- 285, 2010a.

SILVA, K.N.; AGRA, M.F. Estudo farmacobotânico comparativo entre *Nicandra physalodes* e *Physalis angulata* (Solanaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 4, p. 344-351, 2005.

SILVA, S.; PINTO-CARNIDE, O.; MARTINS-LOPES, P.; MATOS, M.; GUEDES-PINTO, H.; SANTOS, C. Differential aluminium changes on nutrient accumulation and root differentiation in an Al sensitive vs. tolerant wheat. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, n. 1, p. 91-98, 2010b.

SILVA S. Aluminium toxicity targets in plants. **Journal of Botany**, p. 1-8, 2012.

SOARES, M.B.P.; BRUSTOLIM, D.; SANTOS, L.A.; BELLINTANI, M.C.; PAIVA, F.P.; RIBEIRO I.M.; TOMASSINI, T.C.B.; SANTOS, R.R. Physalins B, F e G, seco-steroids purified from *Physalis angulata* L., inhybity lymphocyte function and allogeneic transplant rejection. **International Immunopharmacology**, v. 6, n. 3, p. 408-414, 2006.

SOUZA, C.L.M.; SOUZA, M.O.; OLIVEIRA, M.F.; OLIVEIRA, L.M.; PELACANI, C.R. Morfologia de sementes e desenvolvimento pós-seminal de *Physalis angulata* L. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 4, p. 1082-1085, 2010.

SOUZA, D.M.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, M. O.; SOUZA, C. L. M.; PELACANI, C.R.; SOARES, M.; MAZZEI, J. L.; RIBEIRO, I. M.; RODRIGUES, C. P.; TOMASSINI, T. C. B. Osmotic priming effects on emergence of *Physalis angulata* and the influence of abiotic stresses on physalin content. **South African Journal of Botany**, v. 88, p. 191-197, 2013.

SOUZA, M.O.; SOUZA, C.L.M.; BARROSO, N.S.; PELACANI, C.R. Preconditioning of *Physalis angulata* L. to maintain the viability of seeds. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 1, p. 153-156, 2014.

SOUZA, O.M.; SOUZA, C.L.M.; PELACANI, C.R. Germinação de sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas e crescimento inicial de *Physalis angulata* L. (Solanaceae) em ambientes salinos. **Acta Botanica Brasilica**, v.25, n. 1, p. 105-112. 2011.

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005, 640 p.

STEINER, F.; ZOZ, T.; PINTO JUNIOR, A.S.; CASTAGNARA, D.D.; DRANSKI, J.A.L. Effects of aluminum on plant growth and nutrient uptake in young physic nut plants. **Semina**, v. 33, n. 5, p. 1779-1788, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4 ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2009.

TANAN, T.T. **Fenologia e caracterização dos frutos de espécies de *Physalis* cultivadas no semiárido baiano**. 2015. 58 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, 2015.

TOMASSINI, T.C.B.; BARBI, N.S.; RIBEIRO, I.M.; XAVIER, D.C.D. Gênero *Physalis*- uma revisão sobre vitaesteróides. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 47-57, 2000.

VIEIRA, A.T.; PINHO, V.; LEPSCH, L.B.; SCAVONE, C.; RIBEIRO, I.M.; TOMASSINI, T.; SANTOS, R. R.; SOARES, M.B.; TEIXEIRA, M.M., SOUZA, D.G. Mechanisms of the anti-inflammatory effects of the natural secosteroids physalins in model of intestinal ischemia and reperfusion injury. **British Journal of Pharmacology**, v. 146, n. 2, p. 244-251. 2005.

YANG, J.L.; ZHENG, S.J.; HE, Y.F.; TANG, C.X.; ZHOU, G.D. Genotypic Differences Among Plant Species in Response to Aluminum Stress. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. 6, p. 949-961, 2005.

ZHANG, X.; LONG, Y.; HUANG, J.; XIA, J. Molecular Mechanisms for Coping with Al Toxicity in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 7, p. 1-16, 2019.

ZHENG, S.J. Crop production on acidic soils: overcoming aluminium toxicity and phosphorus deficiency. **Annals of Botany**, v. 106, n. 1, p. 183-184, 2010.

ARTIGO 1

CRESCIMENTO E AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM *Physalis angulata* L. CULTIVADAS EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS NO RECÔNCAVO DA BAHIA, BRASIL¹

¹Artigo publicado no periódico científico Journal of Agricultural Science; Vol. 9, No. 10; 2017, doi:10.5539/jas.v9n10p145, em versão na língua inglesa. (Apresenta-se nas normas da revista, exceto a fonte e o espaçamento).

Crescimento e avaliação de compostos fenólicos em *Physalis angulata* L. cultivadas em duas épocas distintas no Recôncavo da Bahia, Brasil

Claudia Brito de Abreu¹, Manuela Oliveira de Souza¹, Fabricio Mendes Miranda¹,
Torben Grael dos Santos Rodrigues¹ & Fabio de Souza Dias¹

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Campus Universitário de Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Correspondência: Claudia Brito de Abreu, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Campus Universitário de Cruz das Almas, CEP: 44380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. Tel: 55-75-988-189-155. E-mail: claudia01abreu@yahoo.com.br

Recebido: 15 Julho, 2017 Aceito: 16 Agosto, 2017 Publicação Online: 15 Setembro, 2017

doi:10.5539/jas.v9n10p145 URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v9n10p145>

A pesquisa foi financiada pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

Resumo

Physalis angulata L. tem despertado o interesse nos pesquisadores, pois suas propriedades advêm do grande potencial terapêutico atribuído às substâncias comumente denominadas de fisalinas. Entretanto, o seu cultivo na região de estudo é carente de informações sobre a adaptação da espécie às condições edafoclimáticas locais. Objetivou-se avaliar o crescimento e a concentração de compostos fenólicos em *P. angulata* L. em dois períodos diferentes no Recôncavo da Bahia. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, com 10 repetições. Foram avaliados a altura, diâmetro do caule, número de folhas e frutos, massa seca das folhas, caules e raízes, área foliar, área foliar específica, razão de área foliar, razão de massa foliar e fenóis totais, flavonóides totais e atividade antioxidante, nos diferentes órgãos da planta. O crescimento foi favorável no período de abril a junho. Entretanto, a concentração de compostos fenólicos foi maior no período de dezembro a fevereiro. O período de cultivo influenciou o crescimento e a concentração de composto fenólico em *P. angulata* L. no Recôncavo da Bahia.

Palavras-chave: Camapu; DPPH; massa seca; flavonóides totais; fenóis totais.

Growth and Evaluation of Phenolic Compounds in *Physalis angulata* L. at Two Different Periods in the Bahia Reconcavo, Brazil

Claudia Brito de Abreu¹, Manuela Oliveira de Souza¹, Fabricio Mendes Miranda¹,
Torben Grael dos Santos Rodrigues¹ & Fabio de Souza Dias¹

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Campus Universitário de Cruz das Almas, Bahia, Brazil

Correspondence: Claudia Brito de Abreu, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Campus Universitário de Cruz das Almas, CEP: 44380-000, Cruz das Almas, Bahia, Brazil. Tel: 55-75-988-189-155. E-mail: claudia01abreu@yahoo.com.br

Received: July 15, 2017 Accepted: August 16, 2017 Online Published: September 15, 2017

doi:10.5539/jas.v9n10p145 URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v9n10p145>

The research is financed by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

Abstract

Physalis angulata L. has aroused the interest of the researchers, since its properties come from the great therapeutic potential attributed to the commonly called substances of physalins. However, its cultivation in the study region lacks important information on the species adaptation to local soil and climate characteristics. The aim of this study was to evaluate the growth and concentration of phenolic compounds in *P. angulata* L. at two different periods in the Bahia Reconcavo. The experimental design was completely randomized blocks with 10 replicates. We evaluated the stem height and diameter, number of leaves and fruits, dry mass of leaves, stems and roots, leaf area, specific leaf area, leaf area ratio, leaf mass ratio and total phenolics, total flavonoids and antioxidant activity in the different organs of the plant. The growth was favorable from April to June. However, the concentration of phenolic compounds was higher in the period from December to February. The cultivation period influenced the growth and concentration of phenolic compounds in *P. angulata* L. in the Bahia Reconcavo.

Keywords: Camapu, DPPH, dry mass, total flavonoids, total phenols

1. Introdução

A produção de *Physalis* no Brasil concentra-se na região Sul, entretanto, outras espécies do gênero, como *Physalis angulata* L. tem sido estudada na região Nordeste, com destaque para a região do semi-árido, principalmente pelo seu potencial medicinal, conservação de sementes e expressão diferencial de genes em sementes e plântulas submetidas a estresse abiótico (M. Souza, C. Souza, Barroso, & Pelacani, 2014; Souza, 2015; Souza et al., 2016). A espécie possui ocorrência em quase todo país (Stehmann et al., 2015), sendo que na Bahia, existem registros nos municípios de Seabra, Água Quente, Mucugê e Rio de Contas (Matos, 2000).

O interesse pela espécie advém do grande potencial terapêutico atribuídas as substâncias comumente denominadas de fisalinas (Tomassini et al., 2000) e de suas comprovadas atividades anti-inflamatória, imunomoduladora, ação leishmanicida com potencial *in vitro* e *in vivo* ao inibir a leishmaniose cutânea e indução a morte celular por apoptose de células orais humanas cancerígenas (Bastos, Silveira, Salgado, Picanço-Diniz, & Nascimento, 2008; Guimarães et al., 2009; Lee et al., 2009).

Além das fisalinas, (Tomassini et al., 2000), os compostos fenólicos também podem ser encontrados no gênero *Physalis*, pois segundo Ismail e Alam (2001), *P.angulata* contém flavonóides simples e glicolisados. Segundo Kusumaningtyas, Laily, e Limandha (2015), foi encontrado fenóis totais em *P. angulata*, atribuindo a espécie potencial para utilização como alimento funcional.

Nas plantas, os compostos fenólicos desempenham papel importante no crescimento, reprodução e proteção, agindo contra agentes patogênicos, predadores e estresse ambiental, além de contribuir para as características organolépticas das frutas e vegetais (Balasundram, Sundram, & Samman, 2006). Para o homem, os compostos fenólicos mostram resultados promissores como poderosos antioxidantes, que protegem o corpo humano de radicais livres, cuja formação está associada ao metabolismo normal das células aeróbicas (Carvalho, Mattietto, Rios, & Moresco, 2014).

O cultivo de *Physalis* pode ser uma alternativa para o pequeno e médio produtor rural, uma vez que a obtenção dessas substâncias que possui propriedades

terapêuticas (Yu et al., 2010; Sun et al., 2011) está vinculado a práticas extrativistas que gera a redução ou mesmo o risco de extinção da espécie. De acordo com Betemps, Fachinello, Lima, Galarça, e Rufato (2014), o estudo de época de semeadura da *Physalis* faz-se necessário, pois fornece informações importantes sobre a adaptação às condições edafoclimáticas locais, permitindo o adequado manejo da espécie. Até o momento não foram encontrados dados relatando o melhor período de plantio para o crescimento e produção de compostos fenólicos em *P. angulata* L.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e a produção de compostos fenólicos em *P. angulata* L. em dois períodos diferentes no Recôncavo da Bahia, Brasil.

2. Material e Métodos

2.1 Localização e Condições de crescimento da planta

As sementes de *P. angulata* L. foram obtidas de frutos, oriundas de plantas cultivadas em casa de vegetação na Unidade Experimental Horto Florestal da Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia. Entretanto, o experimento foi conduzido na estação experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, situada no município de Cruz das Almas, BA, (12°40'19" S e 39°06'22" W, 220 m de altitude).

O clima local caracteriza-se por ser tropical quente e úmido com estação seca no verão, do tipo As, segundo a classificação de Köppen. A região possui pluviosidade média anual de 1.224 mm, temperatura média anual de 22,4°C e 80% de umidade relativa do ar (Almeida, 1991).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2013) e apresentou as seguintes características físicas e químicas, para as camadas 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, respectivamente: areia = 828 e 791 g Kg⁻¹; silte = 72 e 69 g Kg⁻¹; argila 100 e 140 g Kg⁻¹; pH (H₂O) = 5,6 e 5,0; P= 2,00 e 1,00 (mg dm⁻³); K= 0,09 e 0,05 (mg dm⁻³); Ca²⁺= 0,47 e 0,44 (cmol_c dm⁻³); Mg²⁺= 0,35 e 0,24 (cmol_c dm⁻³); Al³⁺= 0,0 e 0,3 (cmol_c dm⁻³); H+Al = 2,09 e 2,53 (cmol_c dm⁻³); SB= 0,94 e 0,76 (cmol_c

dm^{-3}); CTC= 3,03 e 3,29 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); MO(%)= 15,0 e 10,0; V(%)= 31 e 23%, respectivamente. Antes da implantação do experimento, foi feita a correção do solo com calcário dolomítico.

A semeadura em casa de vegetação e o transplante para o campo foram realizados em dois períodos diferentes, março e novembro de 2016. O transplante para o campo foi realizado nos meses de abril e dezembro de 2016. A primeira e segunda avaliação foram realizadas nos períodos de abril a junho de 2016 e dezembro de 2016 a fevereiro de 2017, respectivamente.

As sementes foram semeadas em tubetes de plásticos com capacidade de 327g, contendo solo, areia e composto orgânico, na proporção (2:1:1), irrigadas diariamente e mantidas em casa de vegetação até o dia do transplante. Ao atingir tamanho médio de 20 cm, as plântulas foram transferidas para o campo experimental em covas com largura, comprimento e profundidade de 40 x 40 x 40 cm, respectivamente. Em espaçamento de 2 m x 1 m. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, com 10 repetições.

2.2 Avaliação do crescimento da planta

Foram avaliadas, semanalmente, as seguintes características de crescimento em 08 plantas de cada bloco: altura do ramo principal, diâmetro do caule, número de folhas e frutos. A altura foi medida com régua milimétrica a partir do colo ao ápice da planta (gema terminal); o diâmetro do caule foi medido com auxílio de um paquímetro digital (cm) a partir do colo da planta e o número de folhas e frutos foi feito por contagem manual.

Após 60 dias de cultivo, as plantas foram coletadas e separadas em folhas, caules e raízes, colocadas em sacos de papel devidamente identificados e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a $40 \pm 5^\circ\text{C}$, até massa constante, para determinação das massas secas das folhas (MSF), caule (MSC) e raízes (MSR). Utilizou-se de uma balança analítica $1 \times 10^{-4}\text{g}$. Para a coleta das raízes no campo, utilizou-se peneira de malha 2 mm para separar o solo das raízes.

A área foliar por planta foi determinada mediante a relação da massa seca de dez discos foliares e a massa seca total das folhas. Os discos foliares foram obtidos com o auxílio de um perfurador de metal de área conhecida, evitando-se a nervura central conforme descrito em Benincasa (2004). A razão área foliar (RAF), razão massa foliar (RMF) e área foliar específica (AFE) foram determinadas a partir dos valores de área foliar total (AFT), expressos em cm^2 , da massa seca da planta (MSP) e da massa seca das folhas (MSF), expressos de acordo com Benincasa (2004).

2.3 Flavonóides Totais, Fenóis Totais e Atividade Antioxidante

Em seguida, o material vegetal foi triturado para a realização das análises de fenóis totais, flavonoides totais e atividade antioxidante. A solução extrativa das folhas, caules e raízes, foram obtidas através de extração sob refluxo com solução hidroalcoólica (40%v/v) por 30 minutos, desenvolvido e validado por Petry, Souza, Bassani, Petrovick and González-Ortega (1998).

2.3.1 Flavonóides Totais

A determinação de flavonóides seguiu a metodologia proposta por Marques et al. (2012), no qual 2 mL da solução extrativa foram transferidas para balões volumétricos de 10 mL, e adicionados 2,0 mL de solução etanólica de AlCl_3 (5%,m/v). Ajustou-se o volume, em seguida, com a solução hidroalcoólica (água + etanol) a (40%,v/v), aguardou-se 30 min no escuro e procedeu-se a leitura em espectrofotômetro (WPA Lightwave II, Biochrom, China) a 408 nm. Os ensaios foram realizados em triplicata. O teor de flavonóides totais foi calculado a partir da curva de calibração da quercetina, usada como padrão, e expresso em miligramas de equivalentes de quercetina por grama de extrato seco (mg EQ g^{-1} ES).

2.3.2 Fenóis Totais

Os teores de fenóis totais dos extratos foram determinados utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu e o ácido gálico como padrão (Slinkard & Singleton, 1977). A

amostra de extrato (0,5 mL) e 2 mL de carbonato de sódio (75 g L^{-1}) foram adicionados a 2,5 mL de reagente Folin-Ciocalteu a 10% (v / v). Após 30 min de reação à temperatura ambiente e protegido da luminosidade, a leitura foi realizada em espectrofotômetro (WPA Lightwave II, Biochrom, China) a 765 nm. Os ensaios foram realizados em triplicata. O teor de fenóis totais foi calculado a partir da curva de calibração do ácido gálico e expresso como miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de extrato seco ($\text{mg EAG g}^{-1} \text{ ES}$).

2.3.3 Determinação de atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH

A determinação de atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH (2,2 difenil-1-picrilhidrazil), seguiu a metodologia proposta por Rufino et al. (2007). A partir do extrato obtido anteriormente, preparou-se em tubos de ensaio cinco concentrações diferentes ($1,00; 3,00; 5,00; 7,00; 10,00 \text{ g. L}^{-1}$) em triplicata. Em ambiente escuro, transferiu uma alíquota de 300 μL de cada diluição do extrato para tubos de ensaio com 3,9 mL do radical DPPH e homogeneizou em agitador de tubos. Utilizou-se 300 μL da solução controle (álcool metílico, acetona e água) com 3,9 mL do radical DPPH e em seguida homogeneizou a solução. A solução de DPPH foi preparada no mesmo dia, antes da realização da análise e guardado em balão volumétrico cobertos com alumínio, protegido da luz até o momento das análises. Utilizou-se o álcool metílico, como branco, para calibrar o espectrofotômetro. Todo procedimento foi feito em triplicata, e em seguida realizadas as leituras em espectrofotômetro (WPA Lightwave II, Biochrom, China) a 517 nm.

2.4 Análise Estatística

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente, procedendo-se a análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade. Utilizado o software Sisvar 4.6 (Ferreira, 2011).

3. Resultados e Discussão

3.1 Dados Climáticos durante o Período do Estudo

Os dados climatológicos do período de estudo estão representados na Figura 1, nos quais encontram-se os valores mensais da precipitação pluviométrica e a média mensal da temperatura, coletados durante os experimentos, no município de Cruz das Almas no Recôncavo da Bahia. O período considerado mais seco foi o mês de janeiro (15 mm) e o mais chuvoso o mês de maio (145 mm).

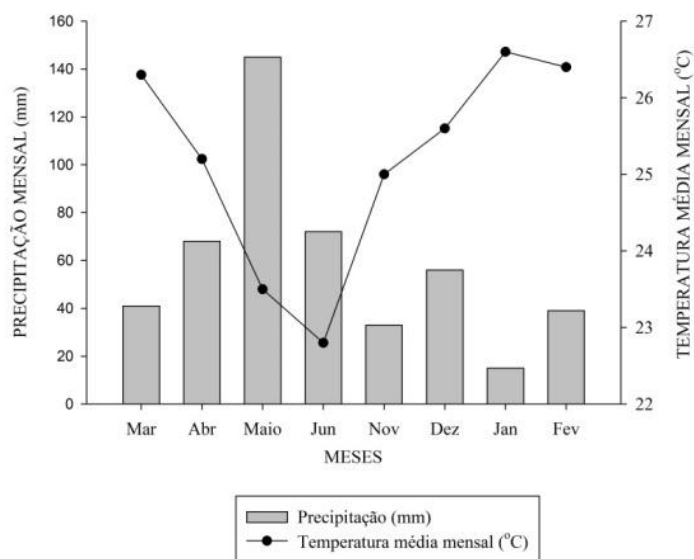


Figura 1. Precipitação mensal (mm) e temperatura média mensal (°C) no período de março de 2016 a fevereiro de 2017, em Cruz das Almas, BA. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia INMET/Brasil, 2017.

Ainda é possível observar na Figura 1 que o mês de janeiro apresentou a temperatura média mais elevada do ano, em torno de 26,6 °C enquanto a temperatura mais baixa ocorreu no mês de junho (média de 22,8 °C). Dessa forma, de acordo com as figuras 2 a 5, as condições climáticas do município de Cruz das Almas, podem influenciar o crescimento de *P. angulata* L., cultivadas no campo. Visto que, a análise de variância mostrou diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os tratamentos, para todas as características de crescimento avaliadas.

3.2 Influência do Período de Cultivo no Crescimento de *Physalis angulata* L.

Na Figura 2 pode-se observar que a altura (cm), o diâmetro do caule (cm), o número de folhas e número de frutos de *P. angulata* L., foram influenciadas pelo período de cultivo.

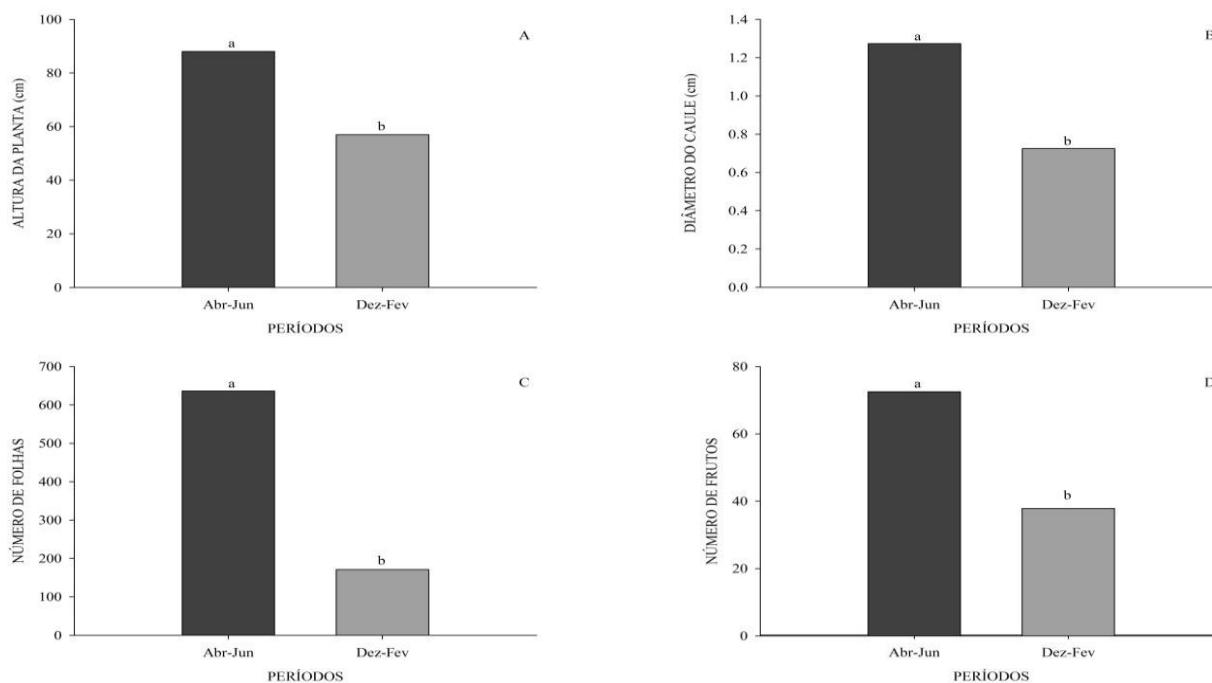


Figura 2. Altura (cm) (A), diâmetro do caule (cm) (B), número de folhas (C) e número de frutos (D) de *Physalis angulata* L., cultivada em campo em dois períodos diferentes (abril a junho de 2016) e (dezembro de 2016 a fevereiro de 2017). Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

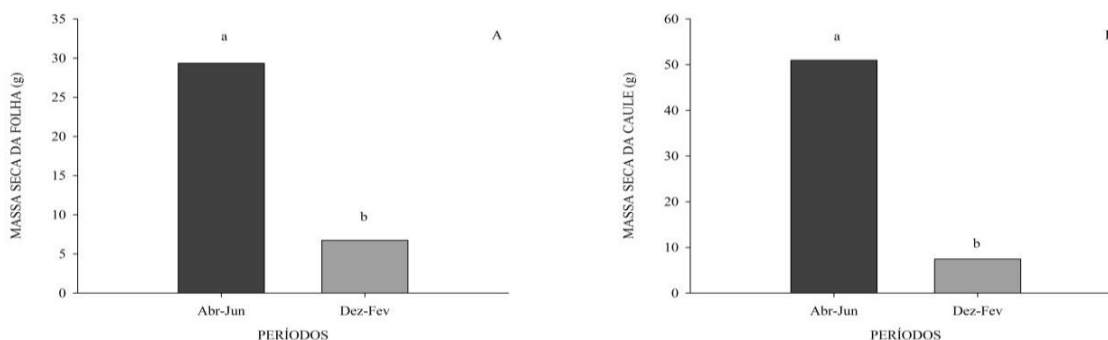
Os maiores resultados foram obtidos entre abril a junho para as variáveis altura 88,05 cm (Figura 2A), diâmetro do caule 1,27 cm (Figura 2B), número de folhas 636,32 (Figura 2C) e número de frutos 72,54 (Figura 2D). Dessa forma, esse período proporcionou as plantas de *Physalis* um incremento no crescimento de 54,5%, 75,6%, 271,5% e 91,6% respectivamente, em comparação ao período de dezembro de 2016 a fevereiro 2017.

Considerando o cultivo realizado no período de dezembro a fevereiro, pode-se observar o número de folhas apresentou maior redução (73,08 %) em relação às outras variáveis analisadas (Figura 2C).

A. Rufato, L. Rufato, Lima, and Muniz (2013) afirmam que plantas de *Physalis* apresentam melhor crescimento em temperaturas entre 8 a 20°C. Assim, é possível que plantas de *P. angulata* L. se adaptam melhor as condições ambientais, da área de estudo no período de abril a junho. Betemps, Fachinello, Lima, Galarça, and Rufato (2014), em estudo sobre o crescimento de fisális em função de três épocas de semeadura, na região de Pelotas-RS, observaram que a semeadura de fisális realizada no início do mês de setembro (final de inverno) resultou em plantas com maior crescimento vegetativo e número de frutos. Lima, Gonçalves, Tomaz, Fachinello and A. Rufato (2010) afirmam, que o cultivo de fisális em locais com temperaturas elevadas, em torno de 30°C tende a favorecer o crescimento vegetativo. No entanto, neste trabalho os resultados divergem o que pode ainda mais, reforçar a grande capacidade dessas plantas se adaptarem a diversos ambientes.

3.3 Influência do Período de Cultivo na Produção de Massa Seca de *Physalis angulata* L.

A Figura 3 mostra que os valores da produção de massa seca em todas as partes das plantas de *P. angulata* L., foram maiores em abril a junho em relação ao período compreendido entre dezembro a fevereiro. Assim, as massas secas das folhas (MSF) (Figura 3A), caule (MSC) (Figura 3B) e raízes (MSR) (Figura 3C), apresentaram aumentos de 336%, 586,3% e 95,6%, respectivamente. O aumento na altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas (Figura 2A, 2B e 2C), proporcionaram incrementos no acúmulo de massa seca nas plantas de *Physalis* (Figura 3).



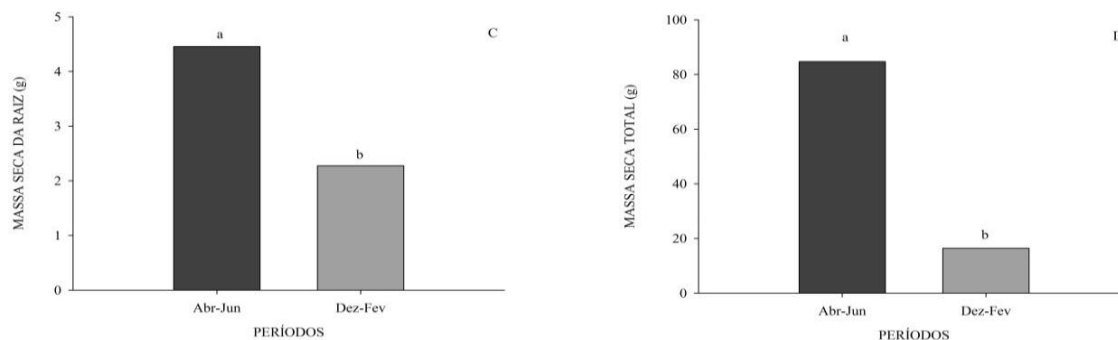


Figura 3. Massa seca da folha (g) (A), massa seca do caule (g) (B), massa seca da raiz (g) (C) e massa seca total (g) (D) de plantas de *Physalis angulata* L., cultivada em campo em dois períodos diferentes (abril a junho de 2016) e (dezembro de 2016 a fevereiro de 2017). Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Considerando que o cultivo no período de dezembro a fevereiro reduziu a massa seca de todas as partes da planta, a massa seca total (MST) diminuiu 80,56% nesse período, em relação ao cultivo de abril a junho (Figura 3D). A massa seca das plantas está diretamente associada à capacidade de fixação de CO₂ atmosférico, por fotossíntese (Zuffo, Zuffo Júnior, L. Silva, R. Silva, & Menezes, 2016) e avalia o crescimento do vegetal, relacionando a quantidade de material orgânico acumulado por unidade de tempo (Martinazzo, Perboni, Posso, Aumonde, & Bacarin, 2015). Provavelmente, a redução da massa seca de todas as partes da planta nesse período, é devido à espécie ser uma planta C₃ e apresentar uma capacidade fotossintética comprometida em altas temperaturas, uma vez que intensifica os processos de respiração e fotorrespiração (Taiz & Zeiger, 2013).

3.4 Influência do Período de Cultivo na Área Foliar e Área Foliar Específica de *Physalis angulata* L.

De acordo com a Figura 4, pode-se observar que o cultivo no período de abril a junho apresentou maior área foliar (AF) em relação ao período de dezembro a fevereiro. Dessa forma, foram observados aumentos de 276,7% na AF de plantas

de *P. angulata*, cultivadas de abril a junho (Figura 4A). Segundo Reis, Azevedo, Albuquerque and Silva Junior (2013), o aumento da área foliar em plantas favorece maior interceptação da energia solar, favorecendo a realização da fotossíntese, resultando na maior produção de fotoassimilados que podem ser utilizados para o crescimento.

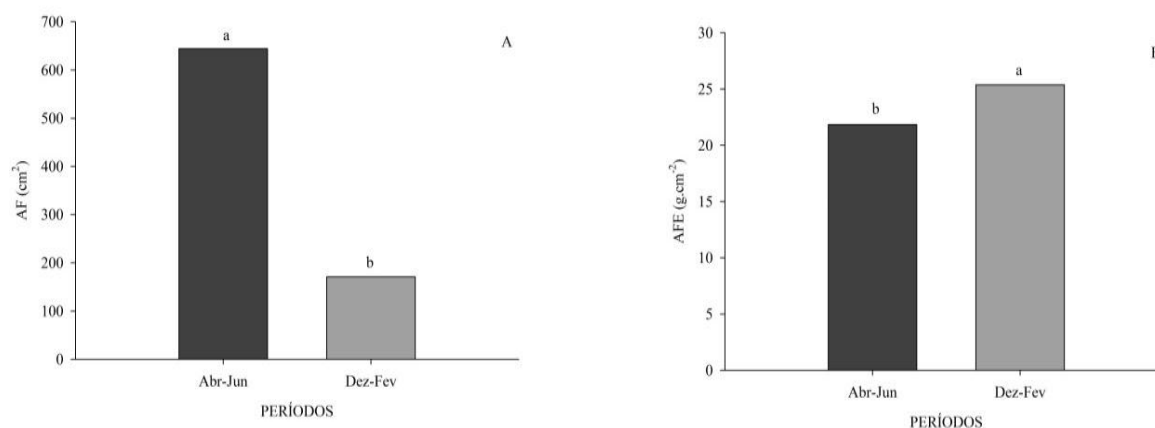


Figura 4. Área Foliar - AF (cm²) (A) e da Área Foliar Específica - AFE (g.cm⁻²) (B) de plantas de *Physalis angulata* L., cultivada em campo em dois períodos diferentes (abril a junho de 2016) e (dezembro de 2016 a fevereiro de 2017). Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

A área foliar específica (AFE) nas plantas de *P. angulata* aumentou no período de dezembro a fevereiro (16,2 %) (Figura 4B). Segundo Taiz e Zeiger (2013), a AFE representa as diferenças na espessura foliar, e conseqüentemente, pode-se inferir se as plantas estão acumulando fotoassimilados em suas folhas ou sendo transportados para outras partes.

3.5 Influência do Período de Cultivo na Razão de Área Foliar e na Razão de Massa Foliar de *Physalis angulata* L.

A Figura 5 apresenta os valores de razão de área foliar (RAF) (Figura 5A) e razão de massa foliar (RMF) (Figura 5B) de plantas de *P.angulata* L. Em relação à razão

de área foliar (RAF), que expressa a área foliar útil para a fotossíntese (Benincasa, 2004), verificou-se que houve diferença significativa entre os períodos de cultivo. Dessa forma, foram observados aumentos de 40,5% no período de dezembro a fevereiro quando comparado ao cultivo de abril a junho (Figura 5A).

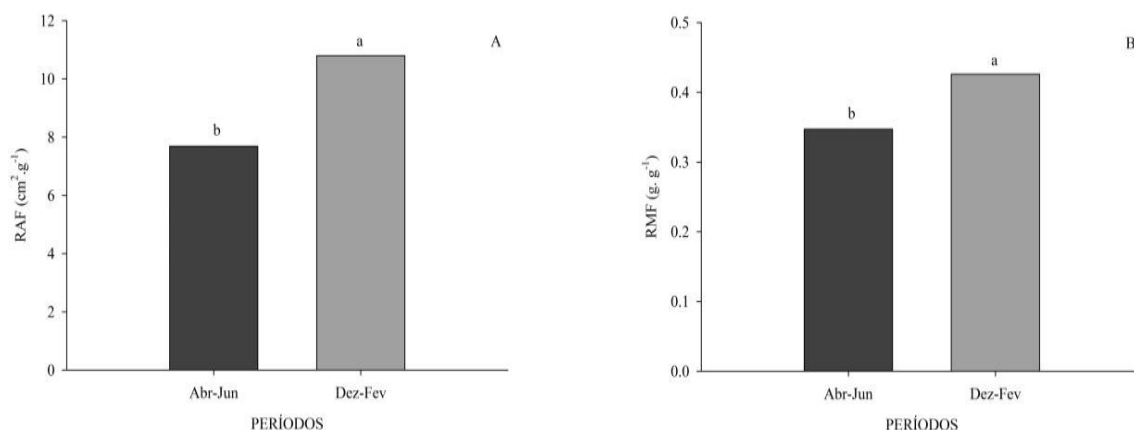


Figura 5. Razão de Área Foliar - RAF (cm². g⁻¹) (A) e Razão de Massa Foliar - RMF (g. g⁻¹) (B) de plantas de *Physalis angulata* L., cultivada em campo em dois períodos diferentes (abril a junho de 2016) e (dezembro de 2016 a fevereiro de 2017). Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

De acordo com Benincasa (2004), RAF é a relação entre a área foliar responsável pela interceptação da energia luminosa e CO₂ e a massa seca total. Em casos de redução da RAF (28,8%), como verificado no cultivo de abril a junho (Figura 5A), indica que o aumento do crescimento da planta, faz com que ocorra uma sobreposição das folhas superiores sobre as inferiores, diminuindo assim a área foliar útil, fato que foi observado quando a planta estava em campo.

Segundo Benincasa (2004), a razão de massa foliar (RMF), que representa a fração de massa seca produzida pela fotossíntese, também sofreu influência ao período de cultivo, entretanto houve aumento no cultivo de dezembro a fevereiro. Foram observadas aumentos de 22,8% na RMF, quando comparado ao cultivo de

abril a junho (Figura 5B). Segundo Aumonde, Lopes, Moraes, Peil, e Pedó (2011) e C. Peixoto, Cruz, and M. Peixoto (2011), a RMF fornece uma estimativa da fração de assimilados retida nas folhas e não exportada para os demais órgãos da planta.

3.6 Influência do Período de Cultivo na Concentração de Flavonóides Totais e Fenólicos Totais em *Physalis angulata* L.

Considerando que os teores de bioativos foram afetados em função dos diferentes períodos, o cultivo no período de dezembro a fevereiro proporcionou um aumento nos fenóis totais, flavonóides totais e maior atividade antioxidante em *P. angulata* L.

Pode-se observar na Figura 6A que o teor de flavonóides totais aumentou em todas as partes da planta no cultivo de dezembro a fevereiro quando comparado ao período de abril a junho. Dessa forma, foram observados aumentos de 40%, 38,46% e 173,6% nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Os resultados sugerem uma forma de adaptação da espécie aos fatores abióticos locais, resultando no aumento na concentração desses compostos.

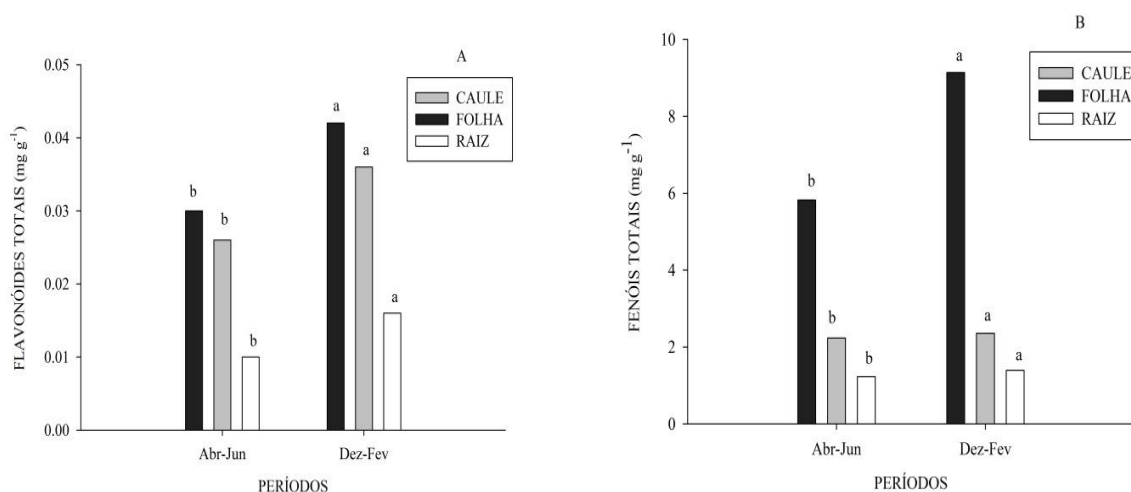


Figura 6. Flavonóides totais (mg g⁻¹)(A), em equivalente de quercetina (EQ) e Fenóis totais (mg g⁻¹) (B), em equivalente de ácido gálico (EAG) em folhas, caule e raiz de plantas de *Physalis angulata* L., cultivada em campo em dois períodos diferentes (abril a junho de 2016) e (dezembro de 2016 a fevereiro de 2017).

Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Observando ainda a Figura 6A, notam-se diferenças entre o teor de flavonóides totais nas diferentes partes das plantas (folhas > caules > raízes). Assim, neste trabalho a maior concentração de flavonóides está localizada nas folhas de *P. angulata* L. Segundo Simões et al. (2000), os flavonóides podem apresentar diferentes concentrações a depender da parte vegetal em que esta localizado. Provavelmente, a parte aérea por estar exposta a luz solar, apresentou a maior concentração de flavonóides em relação à raiz, pois de acordo Degáspari e Waszczyński (2004) a formação dos flavonóides é acelerada pela luz. O período de dezembro a fevereiro favoreceu o incremento de fenóis e flavonóides totais. Em contraposição ao crescimento que foi afetado negativamente. Em condições um pouco mais adversas a planta investe no metabolismo secundário, certamente tentando desenvolver mecanismos de sobrevivência.

De acordo com a Figura 6B, observa-se que o período que apresentou maior teor de fenólicos totais foi o cultivo de dezembro a fevereiro quando comparado ao cultivo de abril a junho. Assim, foram observados incrementos de 57%, 5,6% e 13% nas folhas, caules e raízes, respectivamente.

Maisuthisakul, Suttajit and Pongsawatmanit (2007) estudando algumas plantas indígenas tailandesas, classificou o conteúdo do composto fenólico nos extratos de ervas e vegetais em três faixas de valores: baixo ≤ 10 mg, médio de 10 a 20 mg e alto ≥ 40 mg EAG. g^{-1} de peso seco de extrato de planta. O extrato de folhas, caules e raízes de *P. angulata* L., neste trabalho apresentaram baixos teores de fenóis totais, em relação ao estudo do referido autor. De modo que, os teores mais elevados foram encontrados em folhas (5,8 mg e 9,14 mg de EAG. g^{-1} extrato) do primeiro e segundo período, respectivamente. Segundo Kusumaningtyas et al. (2015), o conteúdo de fenólico total em extratos de *P. angulata* L. depende do tipo de extrato, ou seja, da polaridade do solvente usado na extração, como também das partes da planta avaliada.

Kusumaningtyas et al. (2015), estudando o potencial de *P. angulata*, como fonte de ingrediente funcional relataram valores nas folhas de 0,46 mg de EAG. g^{-1}

extrato. Esse resultado é inferior ao encontrado neste trabalho (5,8 mg e 9,14 mg de EAG. g⁻¹ extrato) no primeiro e segundo período, respectivamente (Figura 6B). Jacobson et al. (2005), estudando duas espécies medicinais, *Stryphnodendron adstringens* e *S. polyphyllum* relataram maiores produções de fenóis totais na época chuvosa do ano. Esses resultados divergem do estudo em questão, no qual a maior produção de fenóis totais em *Physalis* foi observado no período de estiagem, demonstrando as particularidades de cada espécie vegetal, o que valida ainda mais a necessidade de estudos direcionados a cada espécie e condições de cultivo. Os fatores abióticos naturais como a radiação solar, raios UV, época do ano, períodos de estiagem ou chuva, entre outros fatores, podem influenciar no metabolismo e na produção desses compostos (Catherine & Packer, 2003; Degáspari & Waszczyński, 2004).

3.7 Influência do Período de Cultivo na Atividade Antioxidante em *Physalis angulata* L.

É provável que as condições climáticas observadas no período de dezembro a fevereiro, sejam a causa do aumento no metabolismo secundário das plantas de *P. angulata* L., como forma de adaptação as condições adversas do local.

Os valores da concentração efetiva (CE₅₀) encontrados nas folhas de *P. angulata* L., podem ser observados na Figura 7.

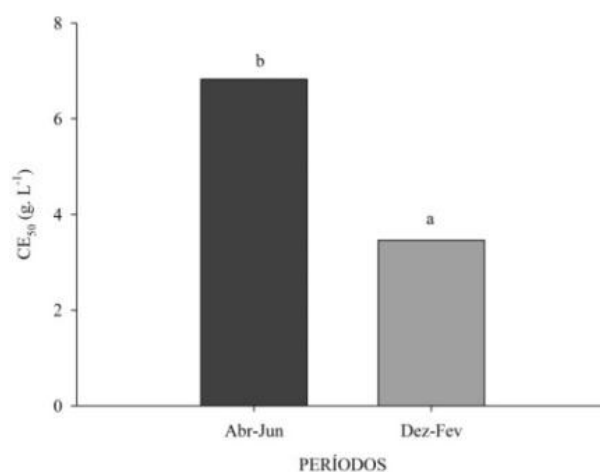


Figura 7. Concentração efetiva-CE₅₀ (g L⁻¹) em folhas de plantas de *Physalis angulata* L., cultivada em campo em dois períodos diferentes (abril a junho de

2016) e (dezembro de 2016 a fevereiro de 2017). Médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

A concentração efetiva (CE_{50}) das folhas de *P. angulata* L., cultivados em diferentes períodos, variaram de $CE_{50} = 3,46 \text{ g L}^{-1}$ no cultivo de dezembro a fevereiro a $CE_{50} = 6,83 \text{ g L}^{-1}$ no cultivo de abril a junho, conforme apresentado na Figura 7.

Folhas de *P. angulata* L. cultivada no período de dezembro a fevereiro apresentaram menor valor de CE_{50} e, conseqüentemente, maior atividade antioxidante quando comparado ao cultivo de abril a junho. A concentração efetiva (CE_{50}) corresponde à concentração necessária da amostra capaz de inibir 50% dos radicais livres (Silva, Oliveira, Guedes, Bittencourt, & Oliveira, 2014). Desta forma, quanto menor o valor do EC_{50} , maior é a sua atividade antioxidante (Fabri, Nogueira, Dutra, Bouzada, & Scio, 2011).

4. Conclusão

Para a obtenção de frutos, principalmente na região do Recôncavo Baiano, *P. angulata* L., deve ser cultivada no período de abril a junho. Para a obtenção de maior concentração de bioativos, tais como fenóis totais e flavonoides totais a espécie deve ser cultivada no período de dezembro a fevereiro.

Referências

- Almeida, O. A. (1991). *Informações meteorológicas do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical*. Cruz das Almas: EMBRAPA/CNPMPF. Retrieved from <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/636357/informacoes-meteorologicas-do-cnp---mandioca-e-fruticultura-tropical>
- Aumonde, T. Z., Lopes, N. F., Moraes, D. M., Peil, R. M. N., & Pedó, T. (2011). Análise de crescimento do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada. *Interciencia*, 36(9), 677-681. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33921204007>

- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plant and agri-industrial byproducts: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>
- Bastos, G. N., Silveira, A. J., Salgado, C. G., Picanço-Diniz, D. L., & Nascimento, J. L. (2008). *Physalis angulata* extract exerts anti-inflammatory effects in rats by inhibiting different pathways. *Journal of Ethnopharmacology*, 118(2), 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.04.005>
- Benincasa, M. M. P. (2004). *Análise de crescimento de plantas: Noções básicas*. Jaboticabal: FUNEP.
- Betemps, D. L., Fachinello, J. C., Lima, C. S. M., Galarça, S. P., & Rufato, A. R. (2014). Época de semeadura, fenologia e crescimento de plantas de fisális no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 179-185. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-292/13>
- Carvalho, A. V., Mattietto, R. A., Rios, A. O., & Moresco, K. S. (2014). Mudanças nos compostos bioativos e atividade antioxidante de pimentas da região amazônica. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44(4), 399-408. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000400004>
- Catherine, A. R., & Packer, L. (2003). *Flavonoids in health and disease*. New York: Basel.
- Degáspari, C. H., & Waszczynskyj, N. (2004). Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. *Visão Acadêmica*, 5(1), 33-40. <https://doi.org/10.5380/acd.v5i1.540>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: EMBRAPA.
- Fabri, R. L., Nogueira, M. S., Dutra, L. B., Bouzada, M. L. M., & Scio, E. (2011). Potencial antioxidante e antimicrobiano de espécies da família Asteraceae. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 13(2), 183-189. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000200009>

- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência & Agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Guimarães, E. T., Lima, M. S., Santos, L. A., Ribeiro, I. M., Tomassini, T. B. C., Santos, R. R., ... Soares, M. B. P. (2009). Activity of physalins purified from *Physalis angulata* *in vitro* and *in vivo* models of cutaneous leishmaniasis. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 64(1), 84-87. <https://doi.org/10.1093/jac/dkp170>
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2017). *Estações automáticas*. Retrieved March 4, 2017, from <http://www.inmet.gov.br>
- Ismail, N., & Alam, M. (2001). A novel cytotoxic flavonoid glycoside from *Physalis angulata*. *Fitoterapia*, 72(6), 676-679. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(01\)00281-7](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(01)00281-7)
- Jacobson, T. K. B., Garcia, J., Santos, S. C., Duarte, J. B., Farias, J. G., & Kliemann, H. J. (2005). Influência de fatores edáficos na produção de fenóis totais e taninos de duas espécies de barbatimão (*Stryphnodendron* sp.). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 35(3), 163-169. <https://doi.org/10.5216/pat.v35i3.2218>
- Kusumaningtyas, R. W., Laily, N., & Limandha, P. (2015). Potential of Ciplukan (*Physalis angulata* L.) as Source of Functional Ingredient. *Procedia Chemistry*, 14, 367-372. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.050>
- Lee, H. Z., Liu, W. Z., Hsieh, W. T., Tang, F. Y., Chung, J. G., & Leung, H. W. C. (2009). Oxidative stress involvement in *Physalis angulata*-induced apoptosis in human oral cancer cells. *Food and Chemical Toxicology*, 47(3), 561-570. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.12.013>
- Lima, C. S. M., Gonçalves, M. A., Tomaz, Z. F. P., Rufato, A. R., & Fachinello, J. C. (2010). Sistemas de tutoramento e épocas de transplante de *Physalis*. *Ciência Rural*, 40(12), 2472-2479. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010001200006>
- Maisuthisakul, P., Suttajit, M., & Pongsawatmanit, R. (2007). Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai

- indigenous plants. *Food Chemistry*, 100(4), 1409-1418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.032>
- Marques, G. S., Monteiro, R. P. M., Leão, W. F., Lyra, M. A. M., Peixoto, M. S., Rolim-Neto, P. J., ... Soares, L. A. L. (2012). Avaliação de procedimentos para quantificação espectrofotométrica de flavonoides totais em folhas de *Bauhinia forficata* LINK. *Química Nova*, 35(3), 517-522. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000300014>
- Martinazzo, E. G., Perboni, A. T., Posso, D. A., Aumonde, T. Z., & Bacarin, M. A. (2015). Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de tomateiro cv. Micro-Tom submetidas ao nitrogênio e piraclostrobina. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(5), 3001-3012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n5p3001-3012>
- Matos, F. J. A. (2000). *Plantas medicinais: Guia de seleção e emprego de plantas usadas em fitoterapia no Nordeste do Brasil* (2nd ed.). Fortaleza, CE: UFC.
- Peixoto, C. P., Cruz, T. V., & Peixoto, M. F. S. P. (2011). Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. *Enciclopédia Biosfera*, 7(13), 51-76. Retrieved from <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20agrarias/analise%20quantitativa.pdf>
- Petry R. D., Souza, K. C. B., & Ortega, G. G. (1998). Doseamento do teor de flavonóides totais em extratos hidroalcoólicos de *Passiflora alata* Cryander (maracujá). *Revista Brasileira de Farmácia*, 79, 7-10. Retrieved from <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/103152/000264226.pdf?sequence=1>
- Reis, L. S., Azevedo, C. A. V., Albuquerque, A. W., & Junior, J. S. (2013). Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(4), 386-391. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400005>
- Rufato, A. R., Rufato, L., Lima, C. S. M., & Muniz, J. (2013). *A cultura da Physalis*. Série fruticultura-pequenas frutas, CAV/UDESC. Retrieved from <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/995307/1/RUFATOCulturaPhysalis.pdf>

- Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Morais, S. M., Sampaio, C. G., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. D. (2007). Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. *Comunicado Técnico on line 127*. Fortaleza, CE: Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. Retrieved from <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/426953/1/Cot127.pdf>
- Silva, J. A., Oliveira, F. F., Guedes, E. S., Bittencourt, M. A. L., & Oliveira, R. A. (2014). Atividade antioxidante de *Piper arboreum*, *Piper dilatatum* e *Piper divaricatum*. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16(3), 700-706. https://doi.org/10.1590/1983-084X/13_097
- Simões, C. M. O., Schenquel, E. P., Gosmann, G., Pallazo-de-Mello, J. C., Mentz, L. A., & Petrovick, P. R. (2000). *Farmacognosia da planta ao medicamento* (2nd ed.). Porto Alegre, Florianópolis: UFRGS/UFSC.
- Slinkard, K., & Singleton, V. (1977). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55. Retrieved from <http://www.ajevonline.org/content/28/1/49>
- Souza, C. L. M. (2015). *Armazenamento de sementes e caracterização morfofisiológica de espécies do gênero Physalis* (Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brasil). Retrieved from <http://rgv.web2207.uni5.net/dissertacoes/79.pdf>
- Souza, M. O., Pelacani, C. R., Willems, L. A. J., Castro, R. D., Hilhorst, H. W. M., & Ligterink, W. (2016). Effect of osmopriming on germination and initial growth of *Physalis angulata* L. under salt stress and on expression of associated genes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(1) 503-516. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150043>
- Souza, M. O., Souza, C. L. M., Barroso, N. S., & Pelacani, C. R. (2014). Preconditioning of *Physalis angulata* L. to maintain the viability of seeds. *Acta Amazonica*, 44(1), 153-156. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000100015>

- Stehmann, J. R., Mentz, L. A., Agra, M. F., Vignoli-Silva, M., Giacomini, L., & Rodrigues, I. M. C. (2015). *Solanaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Retrieved from <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB14697>
- Sun, L., Liu, J., Liu, P., Yu, Y., Ma, L., & Hu, L. (2011). Immunosuppression effect of Withangulatin A from *Physalis angulata* via heme oxygenase 1-dependent pathways. *Process Biochemistry*, 46(2), 482-488. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.09.022>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed.
- Tomassini, T. C. B., Barbi, N. S., Ribeiro, I. M., & Xavier, D. C. D. (2000). Gênero *Physalis*—Uma revisão sobre vitaesteróides. *Química Nova*, 23(1), 47-57. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000100011>
- Yu, Y., Sun, L., Ma, L., Li, J., Hu, L., & Liu, J. (2010). Investigation of the immunosuppressive activity of Physalin H on T lymphocytes. *International Immunopharmacology*, 10(3), 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2009.11.013>
- Zuffo, A. M., Zuffo Júnior, J. M., Silva, L. M. A., Silva, R. L., & Menezes, K. O. (2016). Análise de crescimento em cultivares de alface nas condições do sul do Piauí. *Revista Ceres*, 63(2), 145-153. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020005>

ARTIGO 2

CRESCIMENTO, TEORES DE SOLUTOS ORGÂNICOS E CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA EM *Physalis angulata* L., SOB ESTRESSE POR ALUMÍNIO¹

¹Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, em versão na língua inglesa.

**Crescimento, teores de solutos orgânicos e conteúdo relativo de água em
Physalis angulata L., sob estresse por alumínio**

Resumo: O presente trabalho objetivou avaliar o efeito dos níveis crescentes de alumínio (Al) sobre o crescimento, teores de solutos orgânicos e conteúdo relativo de água em plantas de *P. angulata*. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com cinco concentrações de Al^{3+} (0; 0,04; 0,08; 0,12 ou 0,16 mmol L^{-1}) e quatro repetições. O estresse de 0,16 mmol L^{-1} Al^{3+} reduziu as massas secas das folhas, caule, raízes, parte aérea e total em 7,7; 5,3; 31; 6,5 e 14%, respectivamente, e o conteúdo relativo de água em 8,0%. Quanto aos solutos orgânicos, o Al^{3+} aumentou os teores aminoácidos livres (126%) e prolina (152%) nas folhas e os de carboidratos solúveis (34%), proteínas solúveis (76%) e prolina (120%) nas raízes, evidenciando as alterações no metabolismo celular decorrentes do estresse. *Physalis angulata* L. é tolerante até o nível de 0,16 mmol L^{-1} de Al^{3+} no meio de cultivo. Os dados de solutos orgânicos e conteúdo relativo de água mostram a ocorrência de ajustamento osmótico nas plantas sob estresse por Al^{3+} . Os teores de prolina nas folhas e raízes, os de aminoácidos livres nas folhas e os de proteínas solúveis nas raízes podem ser utilizados como indicadores bioquímicos da tolerância ao Al em *P. angulata*.

Palavras-chave: Estresse abiótico, aminoácidos livres, carboidratos solúveis, prolina livre, proteínas solúveis, massa seca, conteúdo relativo de água.

Growth, organic solutes contents and relative water content in *Physalis angulata* L. under aluminum stress

Abstract: The present work aimed to evaluate the effect of increasing aluminum (Al) levels on growth, organic solute content and relative water content in *P. angulata* plants. The experimental design was a completely randomized design with five concentrations of Al³⁺ (0, 0.04, 0.08, 0.12 or 0.16 mmol L⁻¹) and four replicates. The stress of 0.16 mmol L⁻¹ Al³⁺ reduced the dry masses of leaves, stems, roots, shoot and total in 7.7; 5.3; 31; 6.5 and 14%, respectively, and the relative water content by 8.0%. As for organic solutes, Al³⁺ increased free amino acids (126%) and proline (152%) in leaves and soluble carbohydrates (34%), soluble proteins (76%) and proline (120%) in the roots, the changes in cellular metabolism due to stress. *Physalis angulata* L. is tolerant up to the level of 0.16 mmol L⁻¹ of Al³⁺ in the culture medium. The data of organic solutes and relative water content show the occurrence of osmotic adjustment in plants under Al³⁺ stress. The levels of proline in leaves and roots, of free amino acids in the leaves and those of roots soluble proteins can be used as biochemical indicators of tolerance to Al in *P. angulata*.

Keywords: Abiotic stress, free amino acids, soluble carbohydrates, free proline, soluble proteins, dry mass, relative content of water.

INTRODUÇÃO

Physalis angulata L., pertence à família Solanacea (HUNZIKER, 2001), conhecida popularmente como “camapú”, “mullaca” ou “juá-de-capote” (LIMA et al., 2013) é uma espécie com grande potencial terapêutico atribuído às substâncias comumente denominadas de fisalinas (TOMASSINI et al., 2000), sendo encontrada em algumas regiões do Brasil, mais precisamente no Norte e Nordeste (LIMA et al., 2013).

Entretanto, os solos da região Nordeste são considerados ácidos ($\text{pH} < 5,0$) (CUNHA et al., 2014), apresentando teores reduzidos de cálcio e magnésio trocáveis, demonstrando com isso situações prejudiciais ao desenvolvimento das culturas (SOUSA e LOBATO, 2004). Dessa forma, a toxicidade por Alumínio (Al) é um dos principais fatores que limita o crescimento das plantas em solos ácidos (KOCHIAN et al., 2004), pois é encontrado na forma solúvel (Al^{3+}), sendo tóxico para a maioria das plantas (HORST et al., 2010).

Neste contexto, muitas espécies de plantas são sensíveis a pequenas concentrações de Al^{3+} (CONCEIÇÃO et al., 2008) mostrando, como sintoma do seu efeito tóxico, a redução no crescimento radicular, impossibilitando a obtenção de água e nutrientes em profundidade devido ao enraizamento superficial (MIGUEL et al., 2010), comprometendo o crescimento e o desenvolvimento da planta (ZHENG, 2010).

O alumínio também afeta diretamente a membrana plasmática, deslocando os íons Ca^{2+} que atuam como pontes entre os fosfolipídios da membrana, levando à ruptura da mesma (AKESON et al., 1989). Assim, pode haver a redução da permeabilidade para a água (BARCELÓ e POSCHENRIEDER, 2002) em plantas sob estresse por Al^{3+} .

Os osmólitos compatíveis que geralmente participam do ajuste osmótico variam entre as espécies e o estágio de desenvolvimento da planta e consistem em açúcares (glicose e frutose), álcoois (glicerol), compostos contendo nitrogênio (aminoácidos e amidas), proteínas e compostos amino-quaternários (glicinabetaina e prolina) (ASHRAF e HARRIS, 2004).

Os solutos orgânicos (carboidratos solúveis, aminoácidos livres, prolina livre e proteínas solúveis) são compostos solúveis, de baixa massa molar e que

não apresentam toxicidade quando em elevadas concentrações no interior das células, sendo também referidos como solutos compatíveis ou osmólitos compatíveis (ASHRAF e FOOLAD, 2007). O acúmulo de osmólitos compatíveis é um mecanismo celular pelo qual os organismos amenizam os efeitos dos estresses ambientais (KISHOR et al., 2005). Eles atuam nas homeostases iônica, osmótica e na estabilização de macromoléculas e organelas, favorecendo a manutenção da integridade celular (BOHNERT e SHEN, 1999; BRAY et al., 2000). Além disso, eliminam as espécies reativas de oxigênio que são superproduzidas durante os estresses osmótico e iônico (JOUVE et al., 2004).

Diante do exposto, diversos autores têm reportado alterações no crescimento (MACÊDO et al., 2009; MACEDO et al., 2011; JESUS e AZEVEDO NETO, 2013), solutos orgânicos (MARIN e SANTOS, 2008; KOVÁCIK et al., 2010; DUDHANE et al., 2012; SILVA et al. 2017) e no conteúdo relativo de água (ALI et al., 2008; JESUS et al., 2016) em plantas cultivadas na presença de Al^{3+} . Entretanto, pouco se sabe a respeito dos danos causados por Al^{3+} no crescimento, nos teores de solutos orgânicos e no conteúdo relativo de água em *Physalis angulata* L.

Dessa forma, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito dos níveis crescentes de alumínio (Al) sobre o crescimento, teores de solutos orgânicos e conteúdo relativo de água em plantas de *P. angulata*.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições de crescimento e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas na UFRB, Campus de Cruz das Almas/BA no período de outubro a dezembro de 2017. Foram utilizadas plantas de *Physalis angulata* L., sendo as mudas produzidas a partir de sementes, em copos plásticos de 200 mL, utilizando-se como substrato areia lavada irrigada diariamente com água destilada. Decorridos 15 dias da emergência, as plântulas foram transferidas para bacias plásticas contendo 12 L de solução nutritiva de Clark (CLARK, 1975) sob aeração constante, onde permaneceram por 5 dias, para efeito de aclimação. Após este período, foram aplicados os tratamentos, os

quais consistiram em cinco diferentes concentrações de alumínio na solução nutritiva (0; 0,04; 0,08; 0,12 ou 0,16 mmol L⁻¹), com quatro repetições. O alumínio foi aplicado na forma de AlCl₃. O experimento foi realizado em duplicata, sendo um para obtenção de amostras para as análises bioquímicas e conteúdo relativo de água e outro para as análises de crescimento. Os níveis das soluções foram completados diariamente com água destilada e o pH foi ajustado em 4,0 ± 0,2, sendo monitorado diariamente e corrigido com HCl ou NaOH quando necessário.

Após 30 dias de estresse, quatro plantas de um experimento foram coletadas, separadas em folhas, caules e raízes, colocadas em sacos de papel devidamente identificados e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 45° C por 72 h, para determinação das massas secas das folhas (MSF), caule (MSC) e raízes (MSR) em balança semi-analítica. De posse dos dados foi calculada a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) e a razão parte aérea/raiz (PA/R). No mesmo período, amostras de folhas e raízes das quatro plantas do outro experimento foram coletadas, imediatamente congeladas e liofilizadas para as análises bioquímicas.

Preparo dos extratos e análises bioquímicas

Os extratos utilizados para análises bioquímicas foram preparados macerando-se, em almofariz cerca de 1,0 g de tecidos liofilizados de folhas e raízes, em 5 mL de tampão fosfato de potássio 100 mmol L⁻¹, pH 7,0, contendo EDTA 0,1 mM. O homogeneizado foi filtrado em tecido de náilon de malha fina e centrifugado a 12000 rpm × g por 15 min. O sobrenadante foi armazenado em ultra freezer (-80 °C) e utilizado para as determinações de carboidratos solúveis, prolina livre, aminoácidos livres e proteínas solúveis. O teor de carboidratos solúveis foi identificado por espectrofotometria a 490 nm pelo método do fenol-ácido sulfúrico, utilizando-se a D-(+)-glucose como padrão (DUBOIS et al., 1956). A prolina livre foi determinada por espectrofotometria a 520 nm, utilizando-se a ninhidrina como reagente específico e a prolina pura como padrão (BATES et al., 1973). Os aminoácidos livres totais foram determinados por espectrofotometria a 570 nm pelo método da ninhidrina, utilizando-se a L-leucina pura como padrão (YEMM e COCKING, 1955). As proteínas solúveis foram determinadas por

espectrofotometria a 595 nm pelo método de ligação ao corante, utilizando-se a albumina de soro bovino pura como padrão (BRADFORD, 1976).

Conteúdo relativo de água (CRA%)

O conteúdo relativo de água na folha (CRA) foi determinado conforme descrito por Barrs e Weatherley (1962), com base nas massas fresca, túrgida e seca dos discos foliares, usando a seguinte equação: $CRA = [(MF - MS) / (MT - MS)] \times 100$, em que: MF, MT e MS são, respectivamente, as massas fresca, túrgida e seca dos discos foliares.

Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado em ambos os experimentos foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições cada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e, no caso de significância, foi realizado um estudo de regressão utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento

O estresse por Al diminuiu linearmente as massas secas de todas as partes das plantas de *Physalis* no nível $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$, em comparação ao controle. Assim, foram observadas reduções na MSF, MSC, MSR, MSPA e MST de 8; 5; 31; 7 e 14%, respectivamente, indicando que, para *P. angulata*, o efeito fitotóxico do alumínio ocorreu principalmente nas raízes, órgão diretamente exposto ao estresse. Por outro lado, observa-se um aumento de 37% na razão parte aérea/raiz nas plantas submetidas a $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al na solução nutritiva, pois os efeitos deletérios do Al no crescimento da *P. angulata* foram mais pronunciados nas raízes que na parte aérea (Figura1).

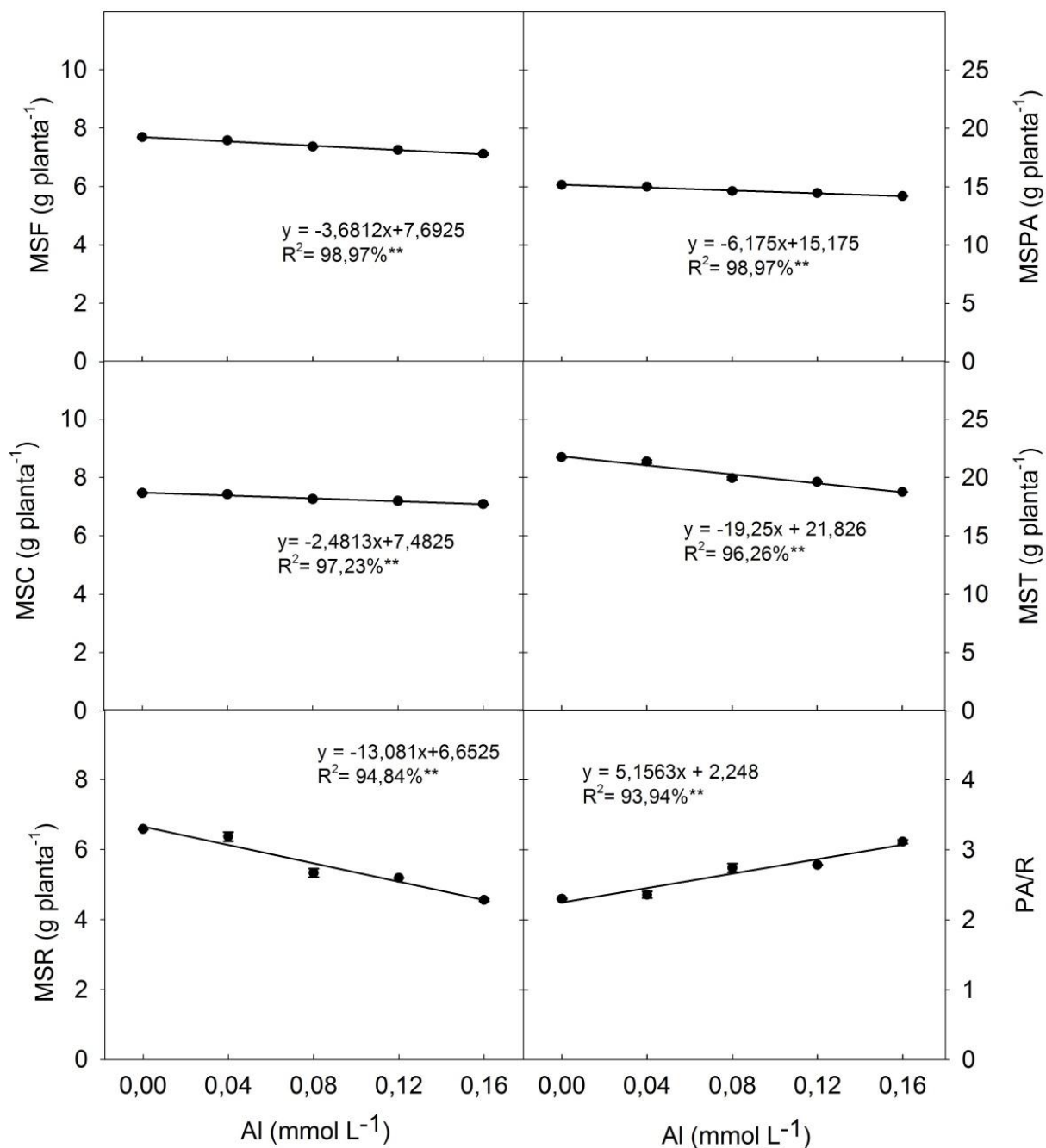


Figura 1. Produção das massas secas das folhas (MSF), caule (MSC), raízes (MSR), parte aérea (MSPA) e total (MST) e razão parte aérea/raiz (PA/R) de plantas de *Physalis angulata* L., após 30 dias de crescimento em casa de vegetação sob diferentes níveis de Alumínio (AlCl₃) na solução nutritiva. * Significante ($p \leq 0.05$); ** significante ($p \leq 0.01$).

Segundo Mezzavilla e Jacob Neto (2017) ao tratar-se da parte aérea da planta, os sintomas de toxidez causados pela presença do alumínio são considerados secundários.

As plantas de *P. angulata* não apresentaram sintomas visíveis de toxidez na parte aérea durante os 30 dias sob estresse por Al. Em plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) o aumento do nível crescente de atividade de Al na solução nutritiva ($220,7 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Al^{3+}) reduziu progressivamente o crescimento da parte aérea e das raízes (STEINER et al., 2012).

Em alfafa (*Medicago sativa* L.) a massa seca da parte aérea de quatro cultivares foi severamente afetada por $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al em solução nutritiva, no período experimental de 45 dias. Dessa forma, as reduções da massa seca da parte aérea variaram de 21 a 55%, quando comparados ao controle (LANGER et al., 2009). Para milho (*Zea mays* L.) a concentração de $0,15 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al na solução nutritiva, período experimental de 21 dias, reduziu a massa seca da parte aérea em 31%, quando comparado ao controle (BATISTA et al., 2013).

Diante do exposto, levando em consideração a parte aérea, *Physalis angulata* pode ser considerada tolerante, visto que a redução da massa seca da parte aérea foi de 7% em $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al na solução nutritiva, em relação ao controle.

Também foram verificados sintomas visíveis de toxidez, como o encurtamento da raiz principal e a redução das raízes secundárias nos tratamentos com maiores níveis de Al. De acordo com Gupta et al. (2013), o Al afeta negativamente a divisão celular na raiz principal, como também nas raízes secundárias.

A raiz foi o órgão que apresentou a maior redução de massa seca induzida pelo estresse quando comparada aos demais órgãos da planta. Essa redução pode ser atribuída à redução da respiração da raiz causada pelo alumínio na planta (GUPTA et al., 2013). Foram reportados por Ali et al. (2008), redução de 25% na massa seca das raízes em *Vigna radiata* L. Wilczek quando cultivadas em 1mM de Al.

O alumínio, mesmo em concentrações micromolares, pode inibir o crescimento radicular (MA et al., 2001), e por ser um elemento pouco móvel dentro da planta (EPSTEIN, 1974), um dos primeiros e mais importantes efeitos

da toxicidade do alumínio parece ser a inibição do crescimento radicular que pode se manifestar após poucos minutos de exposição (KOCHIAN et al., 2004), conforme observado neste trabalho.

Solutos Orgânicos

O estresse por Al diminuiu linearmente os teores de carboidratos solúveis nas folhas (68%) (Figura 2A). Nas raízes, os teores ajustaram-se ao modelo quadrático, sendo observada redução de 16% no nível estimado de $0,06 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al e a partir deste nível houve aumento nos teores de carboidratos solúveis. Assim, foi observado um aumento de 34% nos teores destes solutos no nível $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, em comparação ao controle (Figura 2B). Os aminoácidos livres aumentaram linearmente nas folhas e um comportamento quadrático decrescente foi observado nas raízes. Dessa forma, no nível $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, as equações indicam um aumento de 126% nos teores destes compostos nas folhas (Figura 2C) e uma redução de 71% nas raízes quando comparado ao controle. No nível estimado de $0,13 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, foi observada redução de 76% nos teores de aminoácidos (Figura 2D).

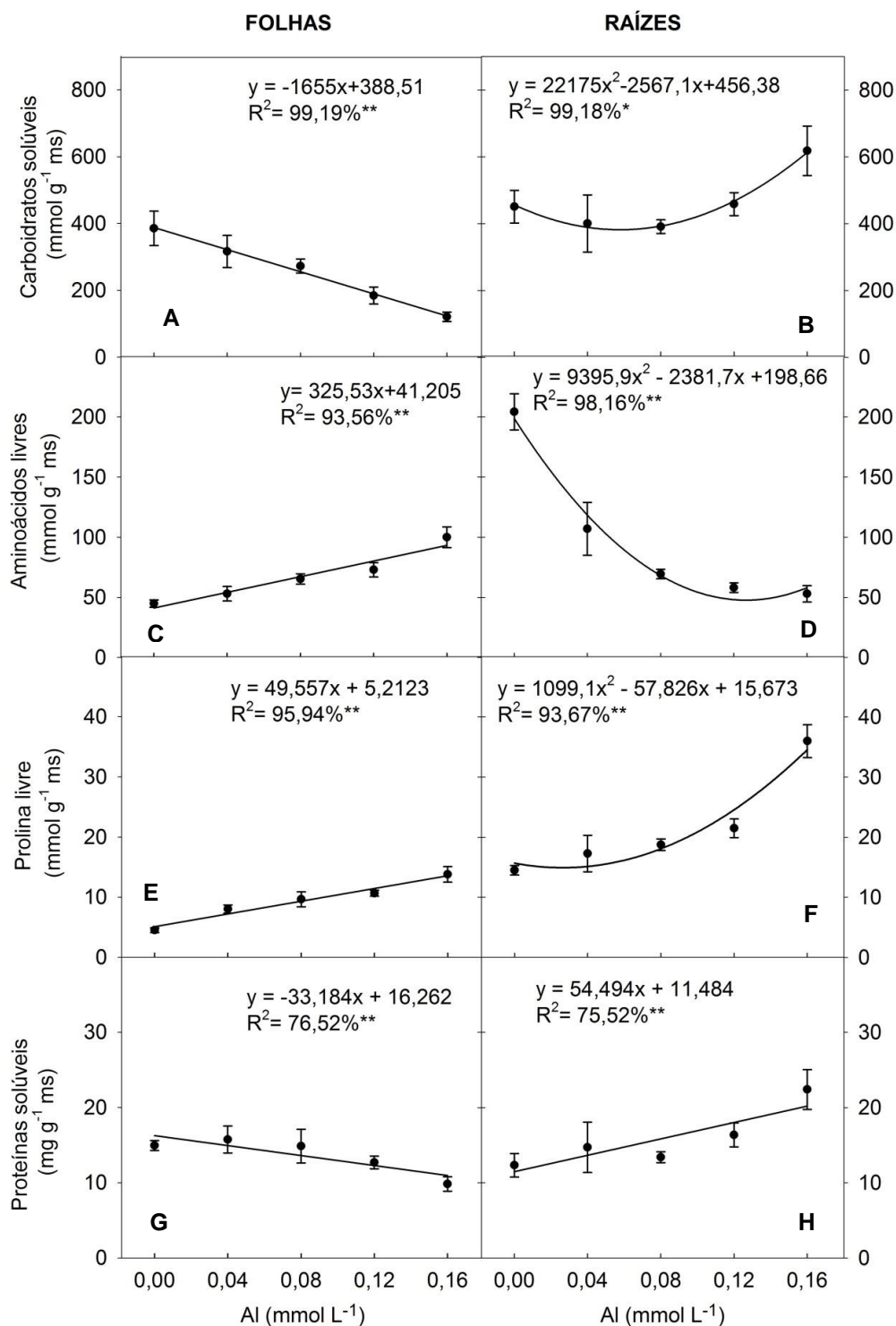


Figura 2. Teores de carboidratos solúveis, aminoácidos livres, prolina livre e proteínas solúveis em folhas e raízes de plantas de *Physalis angulata* L., após 30 dias de crescimento em casa de vegetação sob diferentes níveis de Alumínio (AlCl₃) na solução nutritiva. * Significante ($p \leq 0.05$); ** significante ($p \leq 0.01$).

Kováčik et al. (2010) estudando *Matricaria chamomilla*, observaram que 0,06 mM de Al aumentou a concentração de aminoácidos nas raízes. Entretanto, nenhum efeito foi verificado nas folhas quando comparado ao controle.

Os teores de prolina livre aumentaram linearmente nas folhas e quadraticamente nas raízes. Dessa forma, nas folhas e raízes das plantas no nível 0,16 mmol L⁻¹ de Al os teores de prolina foram, respectivamente, 152 e 120% mais elevados que no controle (Figura 2E e 2F), respectivamente.

Segundo Verbruggen e Hermans (2008) o teor de prolina pode ser variável de espécie para espécie podendo apresentar valores 100 vezes maiores nas plantas submetidas ao estresse quando comparadas às plantas controles. Esse acúmulo de prolina observado neste trabalho pode estar relacionado à tolerância ao estresse, visto que a concentração deste aminoácido é geralmente mais elevada nas plantas tolerantes que nas sensíveis (ASHRAF e FOOLAD, 2007). A prolina estabiliza as estruturas celulares e elimina os radicais livres (HARE e CRESS, 1997) e é um osmólito compatível altamente solúvel em água (KISHOR et al., 2005).

Trabalho realizado por Ali et al. (2008) relataram que o teor de prolina tanto nas folhas como nas raízes, aumentaram em 23% nas plantas *Vigna radiata* L. Wilczek submetidas ao estresse de 1 mM de Al. Entretanto, para *Matricaria chamomilla* 0,06 mM de Al aumentou a concentração de prolina nas raízes em 167%. Por outro lado, não houve diferença estatística nas folhas quando comparado ao controle (KOVÁČIK et al., 2010).

As proteínas solúveis diminuíram linearmente nas folhas e aumentaram linearmente nas raízes. Dessa forma, no nível 0,16 mmol L⁻¹ de Al as equações indicam uma redução de 33% nos teores destes compostos nas folhas e um aumento de 76% nas raízes em relação ao controle (Figura 2G e 2H), respectivamente. Em plantas de *Matricaria chamomilla*, os teores de proteínas solúveis totais não foram afetados nem na parte aérea nem nas raízes pelo excesso de Al (0,12 mM) em comparação com o controle (KOVÁČIK et al., 2010).

Foi verificado que o aumento na concentração de aminoácidos livres nas folhas ocorreu paralelamente ao decréscimo na concentração de proteínas solúveis, sugerindo a degradação de proteínas induzida pelo estresse por alumínio. Em contraste, nas raízes o aumento das proteínas solúveis ocorreu

simultaneamente à diminuição nos aminoácidos livres, sugerindo que, nas raízes, a redução dos aminoácidos foi devido ao incremento da síntese protéica.

Foi observado também, que a prolina foi único soluto orgânico cujas concentrações aumentaram com o estresse por Al, tanto nas folhas como nas raízes, indicando que o acúmulo desse soluto orgânico pode ser considerado um bom indicador bioquímico do estresse por Al em plantas de *P. angulata*.

O mecanismo de exclusão, ocorre com exsudação de ligantes orgânicos (mucilagem, compostos orgânicos de baixo peso molecular, etc.) pelas raízes, que são capazes de complexar o Al e alterar o pH da rizosfera (LANGER et al., 2009). Considerando que os teores de carboidratos solúveis, prolina livre e proteínas solúveis nas raízes aumentaram significativamente com o incremento do estresse por Al, os dados sugerem a exclusão como um mecanismo utilizado por *P. angulata* para a tolerância ao alumínio.

Conteúdo relativo de água

O estresse por Al na solução nutritiva reduziu o conteúdo relativo de água (CRA%), das plantas de *P. angulata* L. Desta maneira foi observada uma pequena redução de 8% no nível de 0,16 mmol L⁻¹ de Al em relação ao tratamento controle. Assim, pode-se sugerir que *P. angulata* se aclimatou às condições de cultivo e foi capaz de manter níveis adequados de água em seus tecidos foliares quando submetida ao estresse por Al (Figura 3).

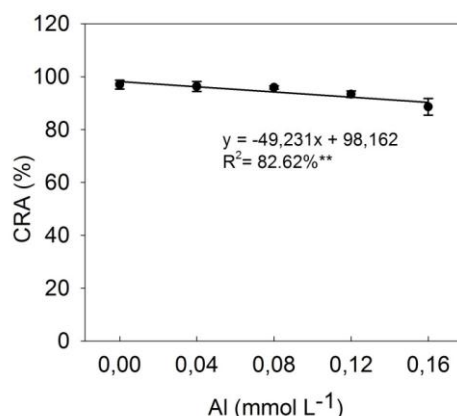


Figura 3. Conteúdo Relativo de Água (CRA%) de plantas de *Physalis angulata* L., após 30 dias de crescimento em casa de vegetação sob diferentes níveis de

Alumínio (AlCl_3) na solução nutritiva. * Significante ($p \leq 0.05$); ** significante ($p \leq 0.01$).

A redução de (30%) na massa seca das raízes no nível $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, associada à pequena redução do CRA sugere que não houve prejuízo na absorção de água pelas raízes, provavelmente, devido ao aumento dos carboidratos solúveis, proteínas solúveis e prolina livre nas raízes das plantas sob estresse, que são considerados os principais solutos orgânicos envolvidos no ajustamento osmótico das plantas sob condições de estresse (JOUVE et al., 2004; AZEVEDO NETO et al., 2009; GANGOLA e RAMADOSS, 2018).

Ali et al. (2008) trabalhando com *Vigna radiata* L. Wilczek sob estresse de (1 mM de Al), observaram que houve uma redução de 17% no conteúdo relativo de água nas folhas. Em *Matricaria chamomilla*, 0,12 mM de Al reduziu em 2,0% o conteúdo relativo de água nas folhas após 7 dias de exposição ao Al. Entretanto, quando foram expostas ao nível de 0,06 mM de Al não houve diferença significativa quando comparado ao controle (KOVÁČIK et al., 2010). Houve redução de 11% no CRA para a variedade IAC-Uruguai aos 10 e 15 dias de estresse por Al (JESUS et al., 2016).

CONCLUSÃO

Physalis angulata L. é tolerante até o nível de $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al no meio de cultivo. A raiz foi o órgão que apresentou a maior redução de massa seca induzida pelo estresse quando comparada aos demais órgãos da planta.

Os dados de solutos orgânicos e conteúdo relativo de água mostram a ocorrência de ajustamento osmótico nas plantas sob estresse por Al. Os teores de prolina nas folhas e raízes os de aminoácidos livres nas folhas e os de proteínas solúveis nas raízes podem ser utilizados como indicadores bioquímicos da tolerância ao Al em *P. angulata*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKESON, M.A.; MUNNS, D.N.; BURAU, R.G. Adsorption of Al^{3+} to phosphatidylcholine vesicles. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.986, n.1, p.33-40, 1989.

ALI, B.; HASAN, S.A.; HAYAT, S.; HAYAT, Q.; YADAV, S.; FARIDUDDIN, Q.; AHMAD, A. A role for brassinosteroids in the amelioration of aluminium stress through antioxidant system in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek). **Environmental and Experimental Botany**, v.62, n.2, p.153-159, 2008.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, n.2, p.206-216, 2007.

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, n.1, p.3-16, 2004.

AZEVEDO NETO, A.D.; PRISCO, J.T.; GOMES-FILHO, E. Changes in soluble amino-N, soluble proteins and free amino acids in leaves and roots of salt-stressed maize genotypes. **Journal of Plant Interactions**, v.4, n.2, p.137-144 2009.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminum toxicity and

resistance: a review. **Environmental and Experimental Botany**, v.48, n.1, p.75-92, 2002.

BARRS, H.D.; WEATHERLEY, P.E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. **Australian Journal of Biological Science**, v.15, n.3, p.413-428, 1962.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v.39, n.1, p.205-207, 1973.

BATISTA, M.F.; MOSCHETA, I.S.; BONATO, C.M.; BATISTA, M.A.; ALMEIDA, O.J.G.; INOUE, T.T. Aluminum in corn plants: influence on growth and morpho-anatomy of root and leaf. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.1, p.177-187, 2013.

BOHNERT, H.J.; SHEN, B. Transformation and compatible solutes. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.237-260, 1999.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, n.1/2, p.248-254, 1976.

BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANA, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (eds), **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**, p.1158-1203, 2000.

CLARK, J. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.23, n.3, p.458-460, 1975.

CONCEIÇÃO, L.D.H.C.S.; SERENO, M.J.C.M.; BARBOSA NETO, J.F. Tolerância ao alumínio em plantas: toxicidade, mecanismos e genes em espécies cultivadas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.14, n.3-4, p.01-10, 2008.

CUNHA, G.O.M.; ALMEIDA, J.A.; BARBOZA, B.B. Relação entre o alumínio extraível com KCL e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1387-1401, 2014.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v.28, n.3, p.350-356, 1956.

DUDHANE, M.; BORDE, M.; JITE, P.K. Effect of Aluminium Toxicity on Growth Responses and Antioxidant Activities In Gmelina Arborea Roxb. Inoculated with am Fungi. **International Journal of Phytoremediation**, v.14, n.7, p.643-655, 2012.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1974. 335p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

GANGOLA, M.P.; RAMADOSS, B.R. Sugars Play a Critical Role in Abiotic Stress Tolerance in Plants. **Biochemical, Physiological and Molecular Avenues for Combating Abiotic Stress Tolerance in Plants**. p.17-38, 2018.

GUPTA, N.; GAURAV, S.S.; KUMAR, A. Molecular basis of aluminium toxicity in plants: a Review. **American Journal of Plant Science**, v.4, p.21-37, 2013.

HARE, P.D.; CRESS, W.A. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.21, n.2, p.79-102, 1997.

HUNZIKER, A.T. **Genera Solanacearum**. Rugell: A.R.G. Gantner Verlag. 500 p. 2001.

HORST, W.J.; WANG, Y.; ETICHA, D. The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. **Annals of Botany**, v.106, n.1, p.185-197, 2010.

JESUS, D.S.; AZEVEDO NETO, A.D. Aluminum Tolerance in Sunflower Plants Is Associated with Phosphorus Content in the Roots. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.44, n.22, p.3423-3430, 2013.

JESUS, D.S.; MARTINS, F.M.; AZEVEDO NETO, AD. Structural changes in leaves and roots are anatomical markers of aluminum sensitivity in sunflower. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.46, n.4, p.383-390, 2016.

JOUBE, L.; HOFFMANN, L.; HAUSMAN, J.F. Polyamine, carbohydrate, and proline content changes during salt stress exposure of aspen (*Populus tremula* L.): involvement of oxidation and osmoregulation metabolism. **Plant Biology**, v.6, n.1, p.74-80, 2004.

KISHOR, P.B.K.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R.N.; LAXMI, P.S.; NAIDU, K.R.; RAO, K.R.S.S.; RAO, S.; REDDY, K.J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v.88, p.424-438, 2005.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A.; PINEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review Plant Biology**, v.55, n.1, p.459-493, 2004.

KOVÁČIK, J.; KLEJDUS, B.; HEDBAVNY, J. Effect of aluminium uptake on physiology, phenols and amino acids in *Matricaria chamomilla* plants. **Journal of Hazardous Materials**, v.178, n.1-3, p.949-955, 2010.

LANGER , H.; CEA , M.; CURAQUEO, G.; BORIE, F. Influence of Aluminum on the Growth and Organic Acid Exudation in Alfalfa Cultivars Grown in Nutrient Solution, **Journal of Plant Nutrition**, v.32, n.4, p.618-628, 2009.

LIMA, C.S.M.; SEVERO, J.; ANDRADE, S.B.; AFFONSO, L.B.; ROMBALDI, C.; RUFATO, A.R. Qualidade pós-colheita de *Physalis* sob temperatura ambiente e refrigeração. **Revista Ceres**, v.60, n.3, p.311-317, 2013.

MA, J.F.; RYAN, P.R.; DELHAIZE, E. Aluminium tolerance in plants and complexing role of organic acids. **Trends in Plant Science**, v.6, n.6, p.273-278, 2001.

MACÊDO, C.E.C.; JAN, V.V.S.; KINET, J.M.; LUTTS, S. Effects of aluminium on root growth and apical root cells in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Reliability of screening tests to detect Al resistance at the seedling stage. **Acta Physiologia e Plantarum**, v.31, n.6, p.1255-1262, 2009.

MACÊDO, F.L.; PEDRA, W.N.; SILVA, S.A.; BARRETO, M.C.V.; SILVA-MANN, R. Efeito do alumínio em plantas de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. **Semina**, v.32, n.1, p.157-164, 2011.

MARIN, A.; SANTOS, D.M.M. Interação da deficiência hídrica e da toxicidade do alumínio em guandu cultivado em hidroponia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.10, p.1267-1275, 2008.

MEZZAVILLA, N.V.; JACOB NETO, J. Avaliação do desenvolvimento de plântulas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* R.) em diferentes concentrações de alumínio. **Revista Semioses**, v.11, n.03, 2017.

MIGUEL, P.S.B.; GOMES, F.T.; ROCHA, W.S.D.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, C.A.; OLIVEIRA, A.V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **Centro de Ensino Superior Revista**, v.24, p.13-29, 2010.

SILVA, JR.; COSTA, K.P.; FONSECA, F.S.A.; VIEIRA, I.T.R.; MARTINS, E.R.; COSTA, C.A. Estresse por alumínio no orégano em cultivo hidropônico. **Caderno de Ciências Agrárias**, v.9, n.2, p.16-27, 2017.

SOUSA, D.M.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

STEINER, F.; ZOZ, T.; PINTO JUNIOR, A.S.; CASTAGNARA, D.D.; DRANSKI, J.A.L. Effects of aluminum on plant growth and nutrient uptake in young physic nut plants. **Semina**, v.33, n.5, p.1779-1788, 2012.

TOMASSINI, T.C.B.; BARBI, N.S.; RIBEIRO, I.M.; XAVIER, D.C.D. Gênero *Physalis*- uma revisão sobre vitaesteróides. **Química Nova**, v.23, n.1, p.47-57, 2000.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**, v.35, n.4, p.753-759, 2008.

YEMM, E.W.; COCKING, E.C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analytical Chemistry**, v.80, p.209-213, 1955.

ZHENG, S.J. Crop production on acidic soils: overcoming aluminium toxicity and phosphorus deficiency. **Annals of Botany**, v.106, n.1, p.183-184, 2010.

ARTIGO 3

AVALIAÇÃO NUTRICIONAL EM *Physalis angulata* L., SOB ESTRESSE POR ALUMÍNIO¹

¹Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Biological Trace Element Research, em versão na língua inglesa.

Avaliação nutricional em *Physalis angulata* L., sob estresse por alumínio

Resumo: Objetivou-se com este trabalho, analisar a nutrição mineral de *Physalis angulata* L., sob estresse por alumínio em solução nutritiva. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de cinco diferentes concentrações de alumínio na solução nutritiva (0; 0,04; 0,08; 0,12 ou 0,16 mmol L⁻¹), na forma de AlCl₃. As plantas foram expostas ao Al, durante 30 dias. O estresse de 0,16 mmol L⁻¹ de Al aumentou os teores de fósforo nos caules e raízes e os teores de potássio, cobre e molibdênio em todas as partes das plantas. Em contraste, o Al reduziu os teores de cálcio, magnésio, ferro e zinco em plantas de *P. angulata*. Sendo o ferro o micronutriente que apresentou a maior redução, seguido pelo zinco nas folhas. Os maiores teores de alumínio foram encontrados nas raízes. Foi utilizada a análise de agrupamento hierárquico (HCA) e a análise de componentes principais (PCA). A separação dos tratamentos em grupos refletiu a heterogeneidade dos tratamentos com relação aos níveis de alumínio na solução nutritiva, evidenciando seu nível de fitotoxicidade em plantas de *Physalis angulata*. Dentre as variáveis analisadas, cálcio, cobre, ferro e fósforo foram as mais influentes demonstradas pela análise de componentes principais (PCA).

Palavras-chave: nutrição mineral, Al³⁺, estresse abiótico, tolerância, planta medicinal, análise de agrupamento hierárquico, análise de componentes principais.

Nutritional evaluation in *Physalis angulata* L., under aluminum stress

Abstract: The objective of this work was to analyze the mineral nutrition of *Physalis angulata* L., under stress by aluminum in nutrient solution. The experimental design was completely randomized with four replications. The treatments consisted of five different concentrations of aluminum in the nutrient solution (0, 0.04, 0.08, 0.12 or 0.16 mmol L⁻¹) in the AlCl₃ form. The plants were exposed to Al for 30 days. Stress of 0.16 mmol L⁻¹ of Al increased the phosphorus contents in the stems and roots and the potassium, copper and molybdenum contents in all parts of the plants. In contrast, Al reduced the levels of calcium, magnesium, iron and zinc in *P. angulata* plants. Iron being the micronutrient that showed the largest reduction, followed by zinc in the leaves. The highest levels of aluminum were found in the roots. Hierarchical cluster analysis (HCA) and principal component analysis (PCA) were used. The separation of the treatments into groups reflected the heterogeneity of the treatments in relation to the aluminum levels in the nutrient solution, evidencing its phytotoxicity level in *Physalis angulata* plants. Among the analyzed variables, calcium, copper, iron and phosphorus were the most influential ones demonstrated by principal component analysis (PCA).

Keywords: mineral nutrition, Al³⁺, abiotic stress, tolerance, medicinal plant, hierarchical cluster analysis, principal component analysis.

INTRODUÇÃO

O alumínio compõe mais de 7% da crosta terrestre, sendo o terceiro elemento mais abundante, logo após o oxigênio e silício (MA et al., 2001), sua toxicidade é considerada o principal fator limitante da produção agrícola em solos ácidos (KOCHIAN et al., 2005), pois em pH baixo, o Al^{3+} mantém-se ligado aos minerais de argila, sendo dissolvido na solução do solo e ficando disponível às raízes das plantas (RINCÓN e GONZALES, 1992).

Já é sabido, que um dos primeiros e mais importantes efeitos da toxicidade do alumínio é a inibição do crescimento radicular (HORST et al., 1992; DELHAIZE e RYAN, 1995; KOCHIAN et al., 2004), reportado por diversos autores em plantas cultivadas na presença de Al.

Assim, Colodetti et al. (2012) trabalhando com *Cucumis sativus* L., observaram que o comprimento da radícula, em todas as cultivares de pepino, reduziu linearmente em função do aumento das concentrações de alumínio.

Silva (2012) relatada em seu artigo de revisão, os sintomas mais notáveis da toxicidade por alumínio em plantas, entre estes a inibição do crescimento radicular e os desequilíbrios nutricionais. Nesse cenário, Gupta et al. (2013) descrevem uma revisão sobre as mudanças induzidas pelo alumínio na fisiologia e morfologia da planta e o desequilíbrio nutricional entre outros.

Kopittke et al. (2015) observaram que 75 μ M de Al reduziram em 25% o crescimento das raízes de *Glycine max* em apenas 5 minutos.

As plantas ao serem afetadas pelo alumínio tóxico apresentam com frequência sintomas de deficiência nutricional, uma vez que o mesmo interfere no processo de absorção, translocação e transporte de nutrientes (SIVAGURU e HORST, 1998) causando efeitos negativos para o crescimento e desenvolvimento do vegetal (CAI et al., 2011). Entretanto, a concentração crítica de Al^{3+} que é tóxico para a planta difere entre espécies de plantas (YANG et al., 2005), quanto entre cultivares indicando a necessidade de mais pesquisas nessa área (JESUS e AZEVEDO NETO, 2013).

Os efeitos fitotóxicos do seu excesso são observados, tanto nas espécies cultivadas como *Oryza sativa* L. (ALVIM et al., 2012; SOOMRO et al., 2015), *Phaseolus vulgaris* L. (RANGEL et al., 2007) e *Zea mays* L. (KOVAČEVIĆ et al.,

1988), como nas medicinais *Hypoxis hemerocallidea* (OKEM et al., 2016), *Cunila galioides* Benth. (MOSSI et al., 2011) e *Brassica juncea* (YADAV et al., 2018). Entretanto, o seu efeito em *P. angulata* L., ainda são desconhecidos.

A importância de estudar *Physalis angulata* L., e sua relação fitotóxica com o Al^{3+} deve-se ao fato de ser uma espécie com grande potencial terapêutico atribuído às substâncias comumente denominadas de fisalinas (TOMASSINI et al., 2000). Que são derivados de seco-esteróides, já isoladas em plantas de *P. angulata* (SOARES et al., 2003) e que apresentam atividades anticoagulante, antileucêmico e antimutagênico (FREITAS et al., 2006).

P. angulata é uma espécie comestível e medicinal da família Solanaceae (COBALEDA-VELASCO et al., 2017), é uma planta anual, herbácea, ereta e ramificada (VARGAS-PONCE et al., 2015), popularmente conhecida como camapum e juá-de-capote (MUNIZ et al., 2011). Assim, citado essa importância medicinal sobre a espécie, faz-se necessário estudo sobre as respostas fisiológicas de *P. angulata* ao alumínio tóxico, visto que no Brasil, 60% dos solos são ácidos e possuem concentração de Al^{3+} que pode ser tóxica ao crescimento das raízes (FREITAS et al., 2017).

O presente trabalho objetivou analisar a nutrição mineral de *Physalis angulata* L., sob estresse por alumínio em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições de crescimento e tratamentos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas na UFRB, Campus de Cruz das Almas/BA no período de outubro a dezembro de 2017. Foram utilizadas plantas de *Physalis angulata* L., sendo as mudas produzidas a partir de sementes, em copos plásticos de 200 mL, utilizando-se como substrato a areia lavada e irrigada diariamente com água destilada. Decorridos 15 dias da emergência, as plântulas foram transferidas para bacias plásticas contendo 12 L de solução nutritiva de Clark (Clark, 1975) e sob aeração constante, onde permaneceram por 5 dias, para efeito de aclimatação. Após este período, foram aplicados os tratamentos, os quais consistiram de cinco diferentes concentrações de alumínio na solução

nutritiva (0; 0,04; 0,08; 0,12 ou 0,16 mmol L⁻¹), com quatro repetições. O alumínio foi aplicado na forma de AlCl₃. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os níveis das soluções foram completados diariamente com água destilada e o pH foi ajustado em 4,0 ± 0,2, sendo monitorado diariamente e corrigido com HCl ou NaOH quando necessário.

Após 30 dias de estresse, as plantas foram coletadas e separadas em folhas, caules e raízes, colocados em sacos de papel devidamente identificados e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 45° C por 72 h. Em seguida, o material vegetal foi triturado para realização das análises de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco e alumínio.

Preparo da amostra

Para determinação dos teores de nutrientes, foram pesados 0,1 g do extrato vegetal seco e triturado das folhas, caules e raízes, em tubos de digestão devidamente identificados.

Posteriormente, os extratos foram preparados por digestão ácida em uma mistura de 3,5 mL de ácido sulfúrico concentrado e 3 mL de peróxido de hidrogênio a 30%, conforme descrito em Jones (2001). Em seguida, o digerido foi diluído para 100 mL em balão volumétrico com água deionizada para realização das análises de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Al. Os teores dos elementos foram determinados por espectrômetro de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas com base em um plasma de nitrogênio robusto (MIPOES, Agilent 4200).

Análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e, em caso de significância, foi realizado o estudo de regressão, utilizando o programa estatístico SISVAR 4.6 (FERREIRA, 2011).

Entretanto, nesse estudo, apenas os caules de *P. angulata* foram avaliados por técnicas multivariadas, pois foi o órgão da planta que apresentou formação de grupos.

Estatística multivariada: Os resultados analíticos foram avaliados por técnicas multivariadas, como a análise de agrupamento hierárquico (HCA) e análise de componentes principais (PCA) usando o programa Statistica 6.0 para Windows.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estresse por alumínio na solução nutritiva proporcionou variações do nutriente fósforo nas folhas, caules e raízes em plantas de *P. angulata*. Foi observado no caule 2,02 mg g⁻¹ de fósforo no nível 0,16 mmol L⁻¹ de Al, sugerindo que esse órgão pode atuar como reservatório de fósforo, impedindo seu transporte até as folhas (Tabela 1).

O maior incremento de potássio foi observado nas folhas e raízes de *P. angulata*. Sendo observado nas folhas 1,14 mg g⁻¹ de potássio no nível 0,16 mmol L⁻¹ de Al. Os resultados indicam que o estresse por alumínio no maior nível não afetou a translocação do potássio das raízes até as folhas (Tabela 1).

Tabela 1. Médias e os respectivos desvio padrão amostral (s) dos macronutrientes e micronutrientes em folhas, caules e raízes de plantas de *Physalis angulata* L., sob estresse por alumínio.

	Macronutrientes				Micronutrientes				
	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	Médias (mg g ⁻¹)								
Al (mmol L ⁻¹)	Folhas								
0	0,46	0,97	7,54	1,24	0,0065	0,1350	0,0672	0,0138	0,0313
0,04	0,38	0,79	7,76	1,11	0,0071	0,1225	0,0870	0,0130	0,0228
0,08	0,28	0,86	4,33	1,08	0,0082	0,1200	0,0830	0,0125	0,0155
0,12	0,38	1,04	5,58	1,00	0,0073	0,1100	0,0785	0,0153	0,0077
0,16	0,43	1,14	6,81	0,91	0,0093	0,0625	0,0727	0,0165	0,0075
(s)	0,07	0,14	1,44	0,12	0,0011	0,0280	0,0079	0,0017	0,0102
Al (mmol L ⁻¹)	Caules								
0	0,97	0,59	6,02	1,53	0,0053	0,0625	0,0382	0,0118	0,0072
0,04	0,74	0,34	6,53	1,51	0,0050	0,0750	0,0243	0,0110	0,0141
0,08	0,37	0,37	6,59	1,43	0,0060	0,0425	0,0284	0,0102	0,0161
0,12	1,75	0,36	6,92	1,15	0,0057	0,0200	0,0268	0,0135	0,0198
0,16	2,02	0,61	5,27	1,40	0,0065	0,0175	0,0358	0,0145	0,0016

(s)	0,69	0,13	0,64	0,15	0,0006	0,0254	0,0060	0,0018	0,0073
Al (mmol L ⁻¹)	Raízes								
0	0,38	0,90	16,32	2,19	0,0081	0,245	0,2158	0,0120	0,0567
0,04	0,41	0,88	12,77	1,83	0,0093	0,2875	0,2653	0,0110	0,0603
0,08	0,25	0,76	2,49	2,08	0,0105	0,2675	0,2523	0,0087	0,077
0,12	0,38	0,68	2,61	1,91	0,0104	0,1025	0,2463	0,0137	0,0876
0,16	0,51	0,82	3,3	2,41	0,0118	0,1025	0,2968	0,0145	0,1287
(s)	0,09	0,09	6,56	0,23	0,0014	0,0912	0,0295	0,0023	0,0289

* Médias e desvio padrão amostral (s) dos macronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) em folhas, caules e raízes de plantas de *Physalis angulata* L., sob estresse por alumínio.

O maior incremento de cálcio foi verificado nas folhas e raízes no nível 0,04 mmol L⁻¹ de Al. Entretanto, a menor redução foi no nível de 0,08 mmol L⁻¹ de Al. Quando observamos o caule, verificamos que houve pouca variação do nutriente nesse órgão. A pouca variação do cálcio no caule, que nas demais partes da planta, não afetaram o seu transporte até as folhas (Tabela 1).

O maior incremento de magnésio nas raízes foi observado no nível 0,16 mmol L⁻¹ de Al. Por outro lado, o maior nível de estresse proporcionou o menor acréscimo nas folhas de plantas de *P. angulata*. Sugere que o nutriente estava sendo armazenado nas raízes e não transportado até as folhas (Tabela 1).

O estresse por alumínio proporcionou acréscimo de cobre em todas as partes da planta de *P. angulata*. Esse incremento pode se observado no nível 0,16 mmol L⁻¹ de Al. Isso sugere que o metal tóxico nesse nível não afetou a absorção e translocação do cobre para a parte aérea da planta. Entretanto, o metal tóxico alumínio, prejudicou o incremento de ferro em todas as partes da planta (Tabela 1).

O maior incremento de manganês foi verificado na folha no menor nível de Al e a menor redução foi observada no caule. Em relação ao molibdênio, o incremento no caule e raízes de *P. angulata* mostrou de forma semelhante. Entretanto, as folhas apresentaram maior acréscimo desse nutriente em todos os níveis de Al no meio de cultivo (Tabela 1).

O maior acréscimo de zinco foi observado nas raízes em 0,16 mmol L⁻¹ de Al na solução nutritiva. Por outro lado, foi observado maior redução em caule e

folhas, respectivamente. Sugere que o Zn foi afetado significativamente na parte aérea de plantas de *P. angulata*, no nível mais alto do alumínio tóxico (Tabela 1).

Observando a Tabela 2, os teores de fósforo nas folhas, caules e raízes apresentaram resposta quadrática.

Assim, na dose estimada de $0,083 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, observou-se a menor incremento de fósforo, $0,316 \text{ mg g}^{-1}$, nas folhas das plantas de *P. angulata*, representando uma redução de 32% em relação ao controle. A partir deste nível, o aumento do nível de alumínio na solução, aumentou os teores de fósforo nas folhas. Em relação ao caule, o nível estimado de $0,048 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, observou-se a menor redução de fósforo, $0,65 \text{ mg g}^{-1}$, representando um decréscimo de 31% em relação ao controle. A partir desta dose, o aumento no nível de alumínio na solução, aumentou os teores de fósforo no caule das plantas de *P. angulata*.

Para as raízes, o nível estimado de $0,067 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, observou-se um decréscimo do fósforo, $0,31 \text{ mg g}^{-1}$, representando uma redução de 25% em relação ao controle. A partir desta dose, o aumento no nível de alumínio na solução, aumentou os teores de fósforo nas raízes.

Houve redução do fósforo até certa dose estimada de Al. Entretanto, com o aumento do nível de Al na solução nutritiva, foi observado um aumento nos teores de fósforo nas plantas. Dessa forma, as equações indicam que os teores deste nutriente nos caules e raízes das plantas expostas a $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al foram de 132 e 22%, respectivamente, mais elevados em relação ao controle (Tabela 2).

O acréscimo de fósforo nos caules e raízes sugere que *P. angulata*, manteve esses teores como meio de tolerância ao metal tóxico. Estudos mostram que a translocação do fósforo para a parte aérea das plantas sob estresse por Al pode ser prejudicada e que este fenômeno está relacionado com a tolerância ao Al (MARCKLON e SIM, 1992).

O fósforo atua na transferência de energia, estabilidade de membrana, na ativação e desativação de enzimas, no metabolismo de carboidratos, entre outros (VANCE et al., 2003).

Tabela 2. Teste F, equação da regressão, e R² dos macronutrientes e micronutrientes em folhas, caule e raízes de plantas de *Physalis angulata* L., sob estresse por alumínio.

Nutrientes (mg g ⁻¹)	Teste F	Equação da regressão Folhas	R ² %
Fósforo (P)	*	$\hat{y}=20,982x^2 - 3,4946x + 0,4611$	84,56
Potássio (K)	*	$\hat{y}=30,022x^2 - 3,3223x + 0,9386$	86,58
Cálcio (Ca)	**	$\hat{y}=299,33x^2 - 56,993x + 8,0919$	54,75
Magnésio (Mg)	*	$\hat{y}=- 1,8813x + 1,2165$	96,66
Cobre (Cu)	**	$\hat{y}=0,0149x + 0,0065$	71,53
Ferro (Fe)	**	$\hat{y}=-0,3938x + 0,1415$	79,06
Manganês (Mn)	**	$\hat{y}=-2,3058x^2 + 0,3752x + 0,03698$	76,41
Molibdênio (Mo)	**	$\hat{y}=0,3237x^2 - 0,0324x + 0,0137$	89,34
Zinco (Zn)	*	$\hat{y}=- 0,1563x + 0,0295$	94,31
Alumínio (Al)	**	$\hat{y}=8,475x + 0,56$	59,24
Nutrientes (mg g ⁻¹)	Teste F	Equação da regressão Caules	R ² %
Fósforo (P)	**	$\hat{y}=122,88x^2 - 11,904x + 0,9402$	78,11
Potássio (K)	**	$\hat{y}=42,746x^2 - 6,708x + 0,5808$	92,4
Cálcio (Ca)	**	$\hat{y}=-180,47x^2 + 26,094x + 5,911$	78,13
Magnésio (Mg)	**	$\hat{y}=15,402x^2 - 4,0018x + 1,5778$	50,75
Cobre (Cu)	*	$\hat{y}=0,0075x + 0,0051$	68,99
Ferro (Fe)	**	$\hat{y}=-0,3625x + 0,0725$	81,41
Manganês (Mn)	*	$\hat{y}=1,7913x^2 - 0,2925x + 0,0369$	80,39
Molibdênio (Mo)	**	$\hat{y}=0,3348x^2 - 0,0336x + 0,0117$	83,85
Zinco (Zn)	**	$\hat{y}=-2,1652x^2 + 0,3328x + 0,0059$	80,18
Alumínio (Al)	**	$\hat{y}=-207,92x^2 + 30,937x + 0,2441$	75,37
Nutrientes (mg g ⁻¹)	Teste F	Equação da regressão Raízes	R ² %
Fósforo (P)	**	$\hat{y}=22,545x^2 - 3,0446x + 0,4111$	64,72
Potássio (K)	*	$\hat{y}=15,625x^2 - 3,425x + 0,931$	69,3
Cálcio (Ca)	**	$\hat{y}=843,42x^2 - 225,45x + 17,436$	90,87
Magnésio (Mg)	*	$\hat{y}=57,813x^2 - 7,9625x + 2,1655$	69,44
Cobre (Cu)	**	$\hat{y}=0,0214x + 0,0083$	94,07
Ferro (Fe)	**	$\hat{y}=-1,175x + 0,295$	66,45
Manganês (Mn)	*	$\hat{y}=0,3573x + 0,2267$	58,92
Molibdênio (Mo)	**	$\hat{y}=0,4799x^2 - 0,0574x + 0,012$	68,31
Zinco (Zn)	*	$\hat{y}=3,0759x^2 - 0,0639x + 0,00576$	97,77
Alumínio (Al)	**	$\hat{y}=-454,02x^2 + 75,543x + 0,1466$	97,17

** , * e R²- Significativo a 1% e a 5% de probabilidade, coeficiente de determinação e coeficiente de variação, respectivamente. Teste F (p< 0,05).

O estudo de regressão apresentou resposta quadrática para os teores de potássio nas folhas, caules e raízes (Tabela 2). Assim, nas folhas a dose estimada de 0,055 mmol L⁻¹ de Al, observou-se o menor acréscimo de potássio, 0,846 mg g⁻¹, representando uma redução de 9,8% em relação ao controle. A

partir desta dose, o aumento no nível de alumínio na solução, aumentou os teores de potássio nas folhas.

No caule, a dose estimada de 0,078 mmol L⁻¹ de Al, observou-se o menor incremento de potássio, 0,317 mg g⁻¹, representando uma redução de 45% em relação ao controle. A partir desta dose, o aumento no nível de alumínio na solução, aumentou os teores de potássio no caule.

Nas raízes, a dose estimada de 0,109 mmol L⁻¹ de Al, observou-se o menor incremento de potássio, 0,743 mg g⁻¹, representando uma redução de 20% em relação ao controle. A partir desta dose, o aumento no nível de alumínio na solução, aumentou os teores de potássio nas raízes.

Assim, o estresse de 0,16 mmol L⁻¹ de Al, aumentou significativamente os teores de potássio em todas as partes das plantas de *Physalis*, sendo este efeito mais pronunciado nas folhas. Dessa forma, as equações indicam aumentos de 25, 4 e 16% nos teores de potássio nas folhas, caules e raízes, respectivamente, em relação ao controle (Tabela 2), sugerindo que o estresse no maior nível de Al não afetou a absorção e translocação do potássio.

O potássio tem importantes funções nas plantas, atuando na regulação osmótica, no balanço de cátions e ânions, nas relações hídricas na planta, na ativação enzimática para um grande número de enzimas, na síntese de proteínas, na fotossíntese e no transporte de açúcares no floema (FURLANI, 2004; KERBAUY, 2004). Dentre essas funções, o principal papel do potássio é a osmorregulação, que é importante para a extensão celular e o movimento dos estômatos (HAWKESFORD et al., 2012).

Os teores de cálcio nas folhas, caules e raízes apresentaram resposta quadrática. Assim, na dose estimada de 0,095 mmol L⁻¹ de Al, foi observado o menor incremento de cálcio, 5,379 mg g⁻¹, nas folhas das plantas de *P. angulata*, representando uma redução de 33,5% em relação ao controle.

Na dose estimada de 0,072 mmol L⁻¹ de Al verificou-se o maior incremento de cálcio, 6,854 mg g⁻¹, no caule das plantas de *P. angulata*, representando um aumento de 16% em relação ao controle. Na dose estimada de 0,133 mmol L⁻¹ de Al foi observado a menor quantidade de cálcio, 2,370 mg g⁻¹, nas raízes das plantas de *P. angulata*, representando uma redução de 86% em relação ao controle.

Quando as plantas foram submetidas ao maior nível de Al na solução nutritiva, houve redução do cálcio em todos os órgãos da planta. Dessa forma, foram observadas reduções de 18, 8 e 83%, nas folhas, caules e raízes respectivamente, no tratamento de 0,16 mmol L⁻¹ de Al (Tabela 2).

Em pH mais baixo, o alumínio interfere na absorção de cálcio pelas raízes (IMADI et al., 2016). Esse antagonismo leva a uma menor absorção de cálcio e as plantas ficam desnutridas (ROY et al., 1988). Segundo Pilbeam e Morley (2007), o cálcio é um elemento fundamental na manutenção da integridade celular.

Os teores de magnésio apresentaram resposta linear nas folhas e quadrática no caule e raízes (Tabela 2).

Assim, com o aumento do nível de alumínio na solução nutritiva, houve uma redução nos teores de magnésio. O nível de 0,16 mmol L⁻¹ de Al promoveu uma redução do nutriente magnésio, 0,915 mg g⁻¹, nas folhas de *P.angulata*, correspondendo a uma redução de aproximadamente 25%, em relação ao controle.

No caule, a dose estimada de 0,129 mmol L⁻¹ de Al, observou-se o menor acréscimo de magnésio 1,317 mg g⁻¹, representando uma redução de 16,5% em relação ao controle. Nas raízes, a dose estimada de 0,068 mmol L⁻¹ de Al, observou-se o menor incremento de magnésio, 1,891 mg g⁻¹, representando uma redução de 13% em relação ao controle. A partir desta dose, o aumento no nível de alumínio na solução, aumentou os teores de magnésio nas raízes.

Dessa forma, no nível 0,16 mmol L⁻¹ de Al, as equações indicam um aumento de 10% nas raízes em relação ao controle.

O estresse por Al prejudicou apenas a parte aérea das plantas em estudo, sugerindo que o estresse afetou a translocação deste nutriente das raízes para a parte aérea das plantas de *P. angulata*, mas não afetou a absorção. Segundo Imadi et al. (2016), o alumínio afeta a absorção de magnésio mais do que qualquer outro nutriente.

O magnésio é um componente da clorofila e é necessário para a fotossíntese e síntese de proteínas (HAWKESFORD et al., 2012).

O estresse de 0,16 mmol L⁻¹ de Al aumentou significativamente os teores de cobre em todas as partes das plantas de *Physalis*, sendo este efeito mais pronunciado nas raízes. Nas folhas, caules e raízes os aumentos ocorreram de

forma linear. Dessa forma, na maior concentração de Al, as equações indicam aumentos de 37, 24 e 41% nos teores de cobre nas folhas, caules e raízes, respectivamente, em comparação ao controle (Tabela 2).

Freitas et al. (2017) trabalhando com alumínio na nutrição mineral de plantas de arroz, observaram que o teor de cobre na raiz foi aumentando com a aplicação de alumínio.

Por outro lado, o estresse de $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al reduziu significativamente os teores de ferro em todas as partes das plantas de *Physalis*, sendo este efeito mais pronunciado nos caules. Nas folhas, caules e raízes as reduções ocorreram de forma linear. Dessa forma, no maior nível de Al, as equações indicam reduções de 45, 80 e 64% nos teores de ferro nas folhas, caules e raízes, respectivamente, em comparação ao controle (Tabela 2). De acordo com Freitas et al. (2017), os teores de ferro foram reduzidos na parte aérea e na raiz em plantas de arroz, com o aumento das doses de alumínio.

Segundo Imadi et al. (2016), dentre todos os micronutrientes, a inibição da absorção de ferro pela exposição à alta concentração de alumínio é muito maior. O ferro desempenha um papel crucial nos sistemas redox nas células e em várias enzimas (BROADLEY et al., 2012).

Os teores de manganês nas folhas e caules apresentaram resposta quadrática com o aumento de alumínio no meio de cultivo. Dessa forma, na dose estimada de $0,081 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, observou-se o maior incremento de manganês, $0,085 \text{ mg g}^{-1}$, nas folhas das plantas de *P. angulata*, representando um aumento de 22% em relação ao controle. Para o caule, a dose estimada de $0,082 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, observou-se o menor acréscimo de manganês, $0,025 \text{ mg g}^{-1}$, nas plantas de *P. angulata*, representando uma redução de 32% em relação ao controle.

Em contraste, os teores de manganês apresentaram resposta linear nas raízes. Dessa forma, no nível $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al as equações indicam um incremento de 25% nos teores deste nutriente nas raízes em relação ao controle (Tabela 2), sugerindo que o estresse por Al não afetou a absorção deste nutriente em plantas de *Physalis*.

Os micronutrientes, manganês e cobre são importantes para o sistema redox, como ativadores de várias enzimas, incluindo aqueles envolvidos na

desintoxicação de radicais superóxidos, e para a síntese de lignina (BROADLEY et al., 2012).

Nas folhas, caules e raízes das plantas de *Physalis*, os aumentos do molibdênio ocorreram de forma quadrática. Assim, na dose estimada de 0,050 mmol L⁻¹ de Al, foi observado o menor acréscimo de molibdênio, 0,013 mg g⁻¹, nas folhas e 0,011 mg g⁻¹, no caule das plantas de *P. angulata*, representando uma redução de 6% e 8% em relação ao controle. A partir desta dose, o aumento no nível de alumínio na solução, aumentou os teores de molibdênio nas folhas e caules, respectivamente (Tabela 2).

Nas raízes, a dose estimada de 0,059 mmol L⁻¹ de Al, observou-se o menor incremento de molibdênio, 0,010 mg g⁻¹, nas plantas de *P. angulata*, representando uma redução 17% em relação ao controle. A partir desta dose, o aumento no nível de alumínio na solução, aumentou os teores de molibdênio nas raízes (Tabela 2).

Dessa forma, no maior nível de Al, as equações indicam aumentos de 23, 27 e 26% nos teores de molibdênio nas folhas, caules e raízes, respectivamente, em relação ao controle (Tabela 2). Isso sugere que o maior nível de alumínio não afetou a absorção e translocação desse micronutriente.

Os teores de zinco apresentaram resposta linear nas folhas e quadrática para caule e raízes. Assim, no nível 0,16 mmol L⁻¹ de Al, as equações indicam uma redução de 85% nos teores deste nutriente nas folhas em relação ao controle. Por outro lado, na dose estimada de 0,077 mmol L⁻¹ de Al, observou-se o maior incremento de zinco, 0,018 mg g⁻¹ no caule, representando um aumento de 205% em relação ao controle.

Nas raízes, a dose estimada de 0,010 mmol L⁻¹ de Al, observou-se o menor incremento de zinco, 0,057 mg g⁻¹, representando uma pequena redução de 0,6% em relação ao controle. A partir desta dose, o aumento no nível de alumínio na solução, aumentou os teores de zinco nas raízes. Dessa forma, foram observados aumentos de 119% nos teores deste nutriente nas raízes no nível 0,16 mmol L⁻¹ de Al em relação ao controle (Tabela 2). Essa concentração de Zn nas raízes sugere que o estresse por Al no maior nível, afetou a translocação deste nutriente das raízes para a parte aérea das plantas de *Physalis*.

O zinco desempenha um papel na desintoxicação de radicais superóxidos, na integridade da membrana, bem como na síntese de proteínas (BROADLEY et al., 2012).

A variação dos teores de alumínio nas folhas de *Physalis* apresentou um comportamento linear crescente. Dessa forma, o nível de $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al foi observado $1,916 \text{ mg g}^{-1}$, do metal nas folhas de *P. angulata*.

As equações para caule e raízes indicaram um comportamento quadrático. Assim, para o caule a concentração estimada de $0,074 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, foi observado $1,394 \text{ mg g}^{-1}$ de alumínio. Em relação às raízes, na concentração estimada de $0,083 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, observou-se $3,288 \text{ mg g}^{-1}$ de alumínio nas plantas de *P. angulata*.

A concentração de $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al na solução nutritiva aumentou os teores desse metal tóxico nas folhas e raízes em plantas de *P. angulata*. Dessa forma, as equações indicam que os teores de Al nas folhas e raízes foram, respectivamente, 242 e 316% quando comparado ao tratamento controle. Assim, podemos sugerir que o metal tóxico está sendo armazenado nas raízes, dificultando em parte sua translocação para a parte aérea das plantas.

Os números no eixo vertical representam a distância euclidiana de 0 a 2,5 e, no eixo horizontal, as árvores que geram os grupos. Atribuindo-se o valor 1,2 para a distância de ligação no dendrograma foi possível a identificação de grupos (Figura 1).

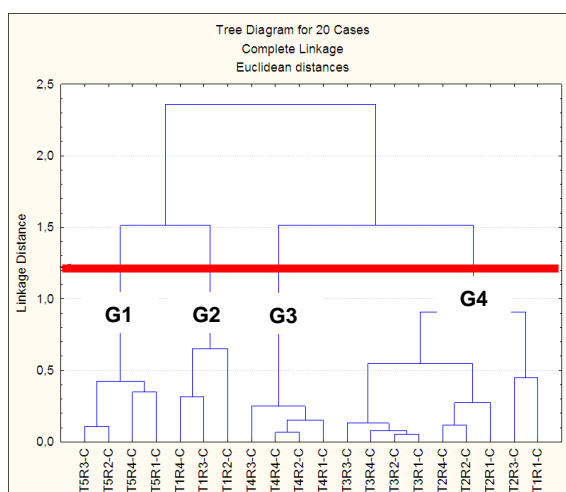


Figura 1. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos com a formação de grupos com base na distância euclidiana. * ($T1=0,0$; $T2=0,04$; $T3=0,08$; $T4=0,12$ ou $T5=0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al) em solução nutritiva. Os grupos

foram identificados pela letra G, seguida pelo numeral correspondente. A letra C significa o caule da planta, órgão que foi analisado pela análise de agrupamentos.

Pela distribuição no gráfico, tratamentos pouco distanciados são mais semelhantes do que os tratamentos largamente distanciados.

O dendrograma apresenta uma divisão exata em grupos. Dessa forma, fica evidente a formação de quatro grupos. No grupo I, ficou agrupado o tratamento T5, no grupo II, o tratamento T1, no grupo III, o tratamento T4 e no grupo IV, os tratamentos T2 e T3, e uma amostra discrepante T1R1 (Figura 1). As semelhanças entre os tratamentos T2 e T3, permitiram que os mesmos fossem reunidos num mesmo grupo.

Nesse cenário, foi observado que os tratamentos T1 e T5 estão próximos no dendrograma, ou seja, maior a semelhança entre eles. Dessa forma, podemos afirmar que o nível mais alto do alumínio tóxico (T5) presentes na solução, reduziu a absorção de Al pelas plantas de *P. angulata*, diferentemente dos outros tratamentos com níveis mais baixos do metal tóxico, onde a absorção foi maior. Essa observação também foram relatados por Leon et al. (2011), em *Coleus blumei* submetida a maior concentração de alumínio houve redução na absorção de Al pelas plantas. Segundo esses autores, muitas plantas excluem o Al das raízes e são capazes de crescer expostos a ela. De acordo com Foy et al. (1978) algumas espécies aumentam o pH do meio e, assim, diminuem a solubilidade e a toxidez do alumínio.

Na Figura 2 o primeiro e o segundo componente principal explicaram 45,88 e 30,45% da variação amostral total, respectivamente. Dessa forma, os dois primeiros componentes explicaram 76,33% da variação total.

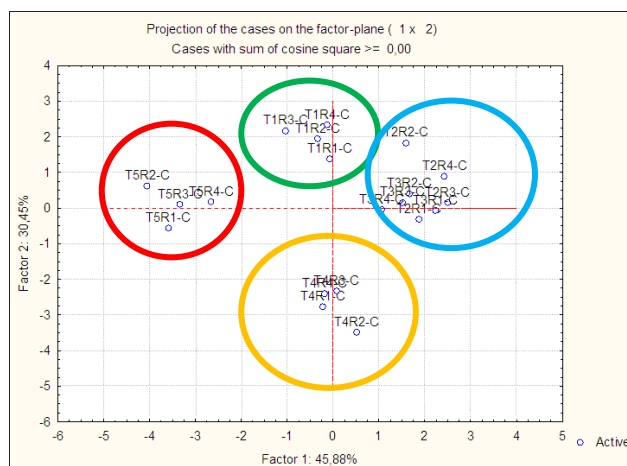


Figura 2. Dispersão gráfica dos tratamentos com e sem alumínio (Al) em *Physalis angulata* L., em relação aos dois componentes principais através da análise de componente principais (PCA).

O PCA (Figura 2) agrupou os tratamentos: T1 (controle), T2 (0,04), T3 (0,08), T4 (0,12) e T5 (0,16) mmol L⁻¹ de Al, na solução nutritiva, em quatro grupos: Dessa forma, podemos observar a semelhança e diferenças dos tratamentos entre os grupos. Podemos observar ainda uma separação entre os tratamentos (T1 e T5) localizados a esquerda, (T2 e T3) localizados a direita e (T4) localizados no centro, mostrando que houve diferença em apenas quatro tratamentos. Os tratamentos (T2 e T3) pertence ao mesmo grupo, ou seja, relativamente semelhantes em relação aos elementos analisados.

Na Figura 3 o primeiro e o segundo componente principal explicaram 45,94 e 20,33% da variação amostral total, respectivamente. Assim, os dois primeiros componentes explicaram 66,27% da variação total. As variáveis (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn), são apresentadas como vetores.

Segundo Borcard et al. (2011), quanto maior for o comprimento de um vetor, o mesmo será importante para explicar a análise. Dessa forma, observando-se o gráfico (Figura 3), que se trata da análise de componentes principais Factor 1 e Factor 2, podemos concluir que o Cu, Zn, Mo, P, Ca, K e Fe são os mais importantes para a análise de componentes principais (PCA).

As variáveis Ca, Fe e K, posicionadas positivamente no PC1, apresentam contribuições similares para a PC1 e estão altamente correlacionadas. No

entanto, P, Mg, Mn, Mo e Zn estão altamente correlacionadas e posicionados negativamente no PC1.

A variável cobre, posicionada positivamente no PC2 está altamente correlacionada com o tratamento T5, por conter maior concentração desse elemento.

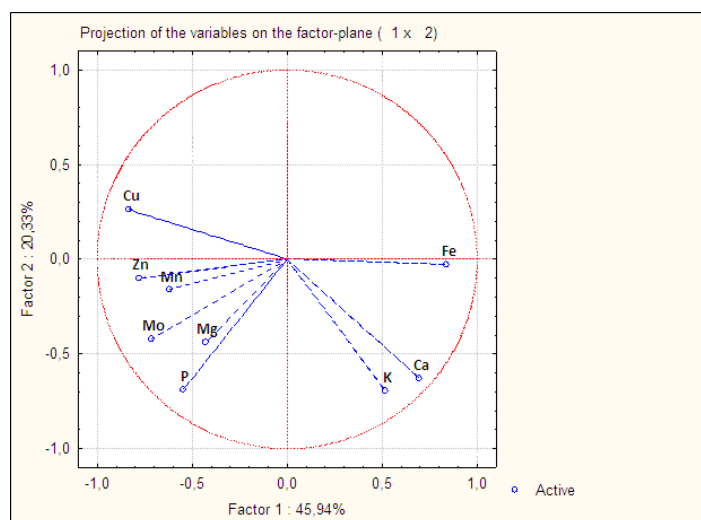


Figura 3. Análise de componentes principais (PCA) dos macronutrientes e micronutrientes em plantas de *P. angulata* L.

O nutriente Fe, Ca e K correlacionam-se negativamente com os demais nutrientes analisados (P, Mg, Mo, Mn, Zn e Cu). Assim sendo, quando os níveis de Fe, Ca e Mg elevam-se, ocorre uma redução nos valores de P, Mg, Mo, Mn, Zn e Cu, sendo o inverso também verdadeiro.

A Tabela 3 mostra que a correlação foi positivamente relacionada entre os nutrientes fósforo e molibdênio (0,65), cálcio e potássio (0,67) e cobre e zinco (0,67). A correlação foi negativamente relacionada entre os nutrientes, cálcio e cobre (-0,77) e ferro e molibdênio (-0,77).

Tabela 3. Correlação dos macronutrientes e micronutrientes em plantas de *Physalis angulata* L., sob estresse por alumínio.

	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
P	1,00	0,10	0,09	0,28	0,24	-0,46	0,52	0,65	0,44
K	0,10	1,00	0,67	0,14	-0,47	0,53	-0,17	-0,14	-0,30
Ca	0,09	0,67	1,00	-0,08	-0,77	0,58	-0,37	-0,20	-0,46
Mg	0,28	0,14	-0,08	1,00	0,31	-0,25	0,29	0,32	0,43
Cu	0,24	-0,47	-0,77	0,31	1,00	-0,54	0,54	0,35	0,67
Fe	-0,46	0,53	0,58	-0,25	-0,54	1,00	-0,35	-0,77	-0,51
Mn	0,52	-0,17	-0,37	0,29	0,54	-0,35	1,00	0,29	0,32
Mo	0,65	-0,14	-0,20	0,32	0,35	-0,77	0,29	1,00	0,53
Zn	0,44	-0,30	-0,46	0,43	0,67	-0,51	0,32	0,53	1,00

* Fósforo (P); Potássio (K); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Cobre (Cu); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Molibdênio (Mo) e Zinco (Zn).

A correlação positiva entre os nutrientes fósforo e molibdênio pode ser explicada porque o fósforo desloca o molibdênio da superfície de adsorção para a solução do solo (MENGEL e KIRKBY, 1987).

Nesse trabalho, houve correlação positiva entre os macronutrientes potássio e cálcio. Entretanto, sabe-se que um nutriente pode afetar a absorção e a distribuição de outros elementos por competição, como ocorre entre os íons potássio e cálcio (MARSCHENER, 1995).

Houve correlação positiva entre os micronutrientes cobre e zinco. Segundo Fernandes (2006), baixos teores de cobre tanto no solo quanto na planta beneficiam a absorção e o transporte de Zn nas plantas. Entretanto, nesse trabalho os teores de cobre não afetaram a absorção de zinco.

Houve correlação negativa entre os micronutrientes Fe e Mo e pode ser explicado devido à ocorrência de relação antagônica entre Mo e Fe.

Dessa forma, os nutrientes envolvidos nessas correlações, correspondem à situação nutricional das plantas de *Physalis angulata*.

CONCLUSÃO

O estresse de 0,16 mmol L⁻¹ de Al aumentou os teores de fósforo nos caules e raízes e os teores de potássio, cobre e molibdênio em todas as partes das plantas.

Em contraste, o Al reduziu os teores de cálcio, magnésio, ferro e zinco em plantas de *P. angulata*. Sendo o ferro o micronutriente que apresentou a maior redução, seguido pelo zinco nas folhas. Os maiores teores de alumínio foram encontrados nas raízes.

A separação dos tratamentos em grupos refletiu a heterogeneidade dos tratamentos com relação aos níveis de alumínio na solução nutritiva, evidenciando seu nível de fitotoxicidade em plantas de *Physalis angulata*. Dentre as variáveis analisadas, cálcio, cobre, ferro e fósforo foram as mais influentes demonstradas pela análise de componentes principais (PCA).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, M.N.; RAMOS, F.T.; OLIVEIRA, D.C.; ISAIAS, R.M.S.; FRANÇA, M.G.C. Aluminium localization and toxicity symptoms related to root growth inhibition in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. **Journal of Biosciences**, v.37, p.1079-1088, 2012.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecological with R**. New York: Springer. 2011. 306p.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. **Function of Nutrients: Micronutrients**. In: Marschner's, P. (ed). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. New York: Elsevier, 2012. cap.7, p.191-248.

CAI, M.Z.; WANG, F.M.; ZHANG, S.N.; WANG, N.; XU, G.D. Response and tolerance of root border cells to aluminum toxicity in soybean seedlings. **Journal of inorganic biochemistry**, v.105, n.7, p.966-971, 2011.

COBALEDA-VELASCO, M.; ALANIS-BAÑUELOS, R.E.; ALMARAZ-ABARCA, N.; ROJAS-LÓPEZ, M.; GONZÁLEZ-VALDEZ, L.S.; ÁVILA-REYES, J.A.; RODRIGO, S. Phenolic profiles and antioxidant properties of *Physalis angulata* L. as quality indicators. **Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research**, v.5, n.2, p.114-128, 2017.

CLARK J. Characterization of phosphatase of intact maize roots. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.23, p.458-460, 1975.

COLODETTI, T.V.; RODRIGUES, W.N.; OLIVEIRA, F.L.; MARTINS, L.D.; TOMAZ, M.A. Efeito do alumínio na germinação e na morfologia radicular de cultivares de pepino. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p.767-776, 2012.

DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, v.107, p.315-321, 1995.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa-MG. 2006.

FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.29, p.511-566, 1978.

FREITAS, L.B.; FERNANDES, D.M.; MAIA, S.C.M.; MAZZIERO, B.G. Aluminum in mineral nutrition of upland rice plants. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.1, p.26-34, 2017.

FREITAS, T.A.; RODRIGUES, A.C.C.; OSUNA, J.T.A. Cultivation of *Physalis angulata* L. and *Anadenanthera colubrina* [(Vell.) Brenan] species of the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.8, n.esp., p.201-204, 2006.

FURLANI, A.M.C. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G.B. (Ed.). **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. P. 40-75.

GUPTA, N.; GAURAV, S.S.; KUMAR, A. Molecular basis of aluminium toxicity in plants: a Review. **American Journal of Plant Sciences**, v.4, p.21-37, 2013.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, S. I.; WHITE, P. **Functions of macronutrients**. In: Marschner, P. (ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. NewYork: Elsevier, 2012. cap.6, p.135-189.

HORST, W.J.; CAKMAK, I.; SZULKIEWICZ, P.; WISSEMEIER, A.H. Short term responses of soybean roots to aluminum. **Journal of Plant Physiology**, v.140, p.174-178, 1992.

IMADI, S.R.; WASEEM, S.; KAZI, A.G.; AZOOZ, M.M.; AHMAD, P. Aluminum Toxicity in Plants. **Plant Metal Interaction**, p.1-20, 2016.

JESUS, D.S.; AZEVEDO NETO, A.D. Aluminum Tolerance in Sunflower Plants Is Associated with Phosphorus Content in the Roots. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.44, n.22, p.3423-3430, 2013.

JONES, J.B. **Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis**. Printed in the United States of America. CRC. Press, p. 205-206, 2001.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2004.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A.; PINEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review Plant Biology**, v.55, n.1, p.459-493, 2004.

KOCHIAN, L.V.; PIÑEROS, M.A.; HOEKENGA, O.A. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. **Plant and Soil**, v.274, p.175-195, 2005.

KOPITTKE, P.M.; MOORE, K.L.; LOMBI, E.; GIANONCELLI, A.; FERGUSON, B.J.; BLAMEY F.P.; MENZIES, N.W.; NICHOLSON, T.M.; MCKENNA, B.A.; WANG, P.; GRESSHOFF, P.M. Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots. **Plant Physiology**, v.167, p.1402-1411, 2015.

KOVAČEVIĆ, V.; VUKADINOVIĆ, V.; BERTIĆ, B. Excessive iron and aluminum uptake and nutritional stress in corn (*Zea mays* L.) plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.11, n.6-11, p.1263-1272, 1988.

LEÓN, A.P.; GONZÁLEZ, R.C.; GONZÁLEZ, M.B.; MIER, M.V.; DURÁN-DOMÍNGUEZ-DE-BAZÚA, C. Exploration of the Ability of *Coleus blumei* to Accumulate Aluminum. **International Journal of Phytoremediation**, v.13, n.5, p.421-433, 2011.

MA, J.F.; RYAN, P.R.; DELHAIZE, E. Aluminium tolerance in plants and complexing role of organic acids. **Trends in Plant Science**, v.6, n.6, p.273-278, 2001.

MARCKLON, A.E.S.; SIM, A. Modifying effects of a non-toxic level of aluminium on phosphate fluxes and compartmentation in root cortex of intact ryegrass seedlings. **Journal of Experimental Botany**, v.43, p.1483-1490, 1992.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press. 889 p. 1995.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute. 687p. 1987.

MOSSI, A.J.; PAULETTI, G.F.; ROTA, L.; ECHEVERRIGARAY, S.; BARROS, I.B.I.; OLIVEIRA, J.V.; PAROUL, N.; CANSIAN, R.L. Effect of aluminum concentration on growth and secondary metabolites production in three chemotypes of *Cunila galioides* Benth. medicinal plant. **Brazilian Journal of Biology**, v.71, n.4, p.1003-1009, 2011.

MUNIZ, J.; KRETZSCHMAR, A.A.; RUFATO, L.; PELIZZA, T.R.; MARCHI, T.; DUARTE, A.E.; LIMA, A.P.F.; GARANHANI, F. Conduction systems for *Physalis* production in southern Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.3, p.830-838, 2011.

OKEM, A.; MOYO, M.; STIRK, W.A.; FINNIE, J.F.; STADEN, J.V. Investigating the effect of cadmium and aluminum on growth and stress-induced responses in the micropropagated medicinal plant *Hypoxis hemerocallidea*. **Plant Biology**, v.18, n.5, p.805-815, 2016.

PILBEAM, D.J.; MORLEY, P.S. **Calcium**. In: Barker, A. V.; Pilbeam, D. J. Handbook of plant nutrition. Boca Raton: CRC Press, Pp.121-144. 2007.

RANGEL, A.F.; RAO, I.M.; HORST, W.J. Spatial aluminium sensitivity of root apices of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes with contrasting aluminium resistance. **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.14, p.3895-3904, 2007.

RINCÓN, M.; GONZALES, R.A. Aluminum partitioning in intact roots of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. **Plant Physiology**, v.99, n.3, p.1021-1028, 1992.

ROY, A.K.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. Some aspects of aluminum toxicity in plants. **The Botanical Review**, v.54, n.2, p.145-178, 1988.

SILVA S. Aluminium toxicity targets in plants. **Journal of Botany**, p.1-8, 2012.

SIVAGURU, M.; HORST, W.J. The Distal Part of the Transition Zone Is the Most Aluminum-Sensitive Apical Root Zone of Maize. **Plant Physiology**, v.116, p.155-163, 1998.

SOARES, M.B.P.; BELLINTANI, M.C.; RIBEIRO, I.M.; TOMASSINI, T.C.B.; SANTOS, R.R. Inhibition of macrophage activation and lipopolysaccharide-induced death by seco-steroids purified from *Physalis angulata* L. **European Journal of Pharmacology**, v.459, p.107-11, 2003.

SOOMRO, A.A.; ABRO, M.A.; LEGHARI, N.; LEGHARI, G.M.; SOOMRO, A.A. Evaluation of aluminum toxicity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). **Science International**, v.27, n.3, p.2251-2255, 2015.

TOMASSINI, T.C.B.; BARBI, N.S.; RIBEIRO, I.M.; XAVIER, D.C.D. Gênero *Physalis*- uma revisão sobre vitaesteróides. **Química Nova**, v.23, n.1, p.47-57, 2000.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLEN, D.L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v.157, p.423-447, 2003.

VARGAS-PONCE, O.; MARTÍNEZ, J.S.; TAVARES, M.P.Z.; MARES, L.E.V. Traditional management of a small-scale crop of *Physalis angulata* in Western Mexico. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.63, n.8, p.1383-1395, 2015.

YADAV, M.; KUMARI, N.; SHARMA, V. Phytoremediation efficiency of *Brassica juncea* cultivars at vegetative and reproductive growth stages under individual and combined treatment of fluoride and aluminium. **International Journal of Phytoremediation**, v.20, n.9, p.922-929, 2018.

YANG, J.L.; ZHENG, S.J.; HE, Y.F.; TANG, C.X.; ZHOU, G.D. Genotypic Differences Among Plant Species in Response to Aluminum Stress. **Journal of Plant Nutrition**, v.28, n.6, p.949-961, 2005.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa em campo experimental, realizadas em duas épocas distintas permitem confirmar que *Physalis angulata* pode ser cultivada no município de Cruz das Almas, Bahia no período de abril a junho, quando sua finalidade for à obtenção de frutos, pois esse período proporcionou um melhor desenvolvimento para as plantas no campo. Entretanto, se o interesse for a maior concentração de bioativos, deve ser cultivada no período de dezembro a fevereiro.

Informações em relação a melhor época de plantio da espécie *Physalis angulata* são fundamentais para a tomada de decisão do agricultor que pretende iniciar um cultivo, pois proporciona conhecimentos prévios que é essencial para o êxito com a cultura.

P. angulata quando cultivada sob estresse por alumínio mostrou ser tolerante até o nível de $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, pois a redução da massa seca da parte aérea ficou abaixo de outras culturas quando foram submetidas a concentrações semelhantes da utilizada nesse trabalho, sendo os efeitos deletérios do Al mais pronunciados nas raízes que na parte aérea. Assim, com bases nesses resultados, plantas de *P. angulata* podem ser cultivadas em solos em que o alumínio não exceda este limite.

As plantas sob estresse por Al realizaram o ajustamento osmótico, não havendo prejuízo na absorção de água pelas raízes. Essa observação pode estar relacionada com a tolerância da *Physalis* ao estresse por Al. Os teores de prolina nas folhas e raízes os de aminoácidos livres nas folhas e os de proteínas solúveis nas raízes podem ser utilizados como indicadores bioquímicos da tolerância ao Al em *P. angulata*.

Estudos sobre o estado nutricional da *Physalis* demonstram que o estresse de $0,16 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al aumentou os teores de fósforo nos caules e raízes e os teores de potássio, cobre e molibdênio em todas as partes das plantas. Em contraste, o Al reduziu os teores de cálcio, magnésio, ferro e zinco em plantas de *P. angulata*. Sendo o ferro o micronutriente que apresentou a maior redução, seguido pelo zinco nas folhas. Os maiores teores de alumínio foram encontrados nas raízes.

Assim, podemos sugerir que o metal está sendo armazenado nesse órgão, e dificultando em parte, sua translocação para a parte aérea das plantas.

A separação dos tratamentos em grupos refletiu a heterogeneidade dos tratamentos com relação aos níveis de alumínio na solução nutritiva, evidenciando seu nível de fitotoxicidade em plantas de *Physalis angulata*. Dentre as variáveis analisadas, cálcio, cobre, ferro e fósforo foram as mais influentes demonstradas pela análise de componentes principais (PCA).

Os dados desse trabalho, também podem subsidiar pesquisas que investiguem o papel de indicadores nutricionais, fisiológicos e bioquímicos de tolerância da *Physalis* ao Al, bem como sua utilização em programas de melhoramento genético desta espécie. Além das informações sobre o melhor período em que as condições climáticas são ideais, para o cultivo de *Physalis angulata*, no município de Cruz das Almas, Bahia.

ANEXO

ANEXO A

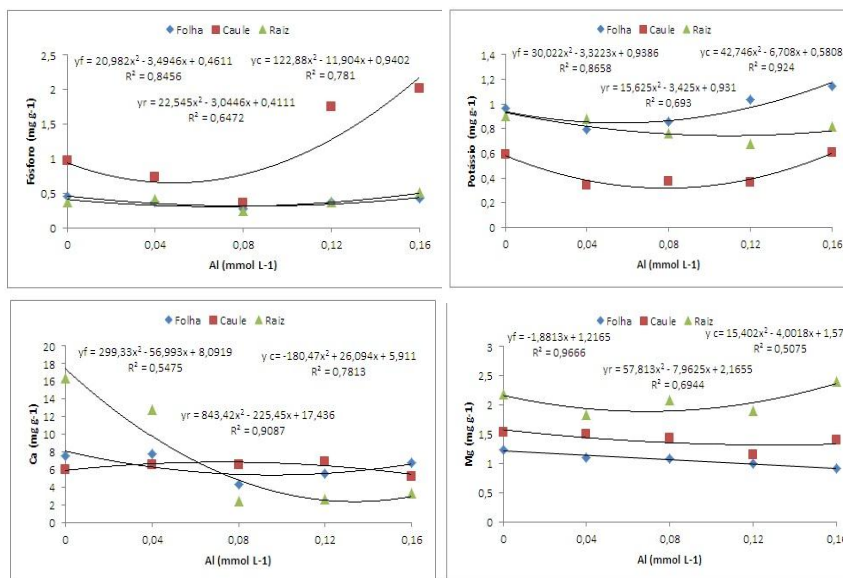


Figura 1. Fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em folhas, caule e raízes de plantas de *Physalis angulata* cultivadas em casa de vegetação por 30 dias em solução nutritiva contendo níveis crescentes de alumínio.

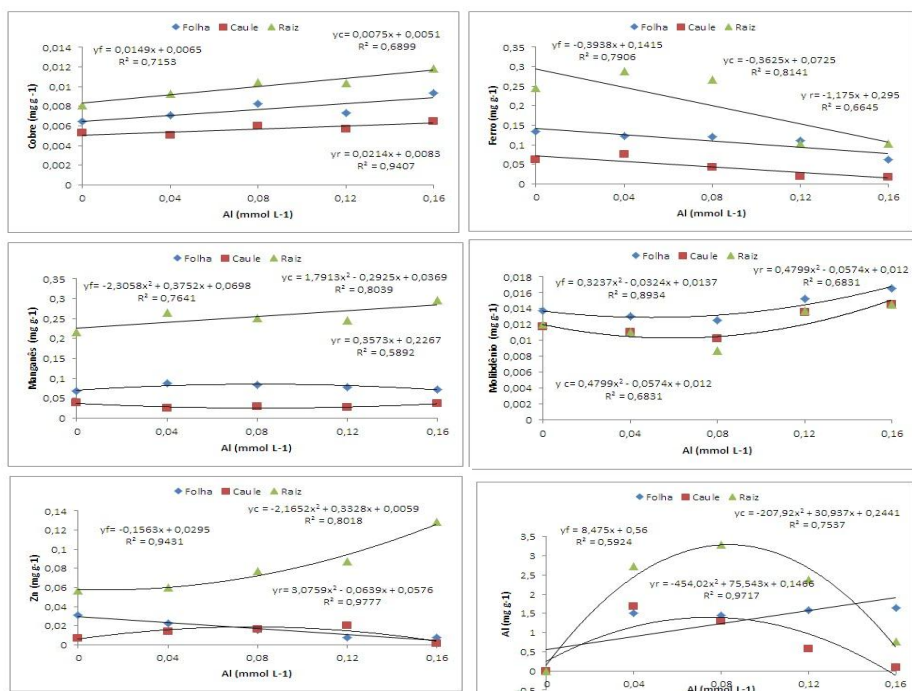


Figura 2. Cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn) e alumínio (Al) em folhas, caule e raízes de plantas de *Physalis angulata* cultivadas em casa de vegetação por 30 dias em solução nutritiva contendo níveis crescentes de alumínio.