

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE – IEAA
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA – HUMAITÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

OZIEL FRANÇA CORDEIRO

**RESPOSTA ECOFISIOLÓGICA DE PLANTAS DE *Solanum sessiliflorum* Dunal
SUBMETIDA À SUPRESSÃO HÍDRICA SEGUIDA POR REIDRATAÇÃO**

HUMAITÁ – AM

2021

OZIEL FRANÇA CORDEIRO

**RESPOSTA ECOFISIOLÓGICA DE PLANTAS DE *Solanum sessiliflorum* Dunal
SUBMETIDA À SUPRESSÃO HÍDRICA SEGUIDA POR REIDRATAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de Pesquisa: Componentes e Dinâmicas dos ecossistemas com ênfase no Bioma Amazônico.

Orientador: Prof. João Henrique Frota Cavalcanti

Co-orientadora: Dra. Priscila Oliveira Silva

HUMAITÁ – AM

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C794r Cordeiro, Oziel França
Resposta ecofisiológica de plantas de *Solanum sessiliflorum*
Dunal submetidas à supressão hídrica seguida por reidratação /
Oziel França Cordeiro. 2021
72 f.: il.; 31 cm.

Orientador: João Henrique Frota Cavalcanti
Coorientadora: Priscila Oliveira Silva
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade
Federal do Amazonas.

1. Déficit hídrico. 2. Fotossíntese. 3. Maná-cubiu. 4.
Sociobiodiversidade. I. Cavalcanti, João Henrique Frota. II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

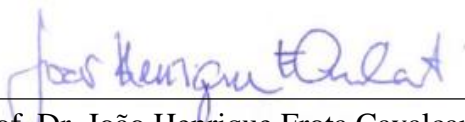
OZIEL FRANÇA CORDEIRO

**RESPOSTA ECOFISIOLÓGICA DE PLANTAS DE *Solanum sessiliflorum* Dunal
SUBMETIDA À SUPRESSÃO HÍDRICA SEGUIDA POR REIDRATAÇÃO**

Dissertação submetida à comissão examinadora pelo programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) em 10/03/2021, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Resultado: **Aprovado**


BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. João Henrique Frota Cavalcanti
Orientador/Presidente
Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA/UFAM



Prof. Dr. Paulo Rogério Beltramin da Fonseca
Membro Titular
Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA/UFAM



Prof. Dra. Jessica Aline Sousa Barros
2º Membro Titular
Universidade Federal de Viçosa – UFV/MG
Membro Externo

*Dedico este trabalho com muito amor e toda gratidão do mundo, à minha amada mãe, **Eliete de França Cordeiro**, minha maior motivação, meu porto seguro e meu exemplo de vida. Serei eternamente grato por tudo que fez e faz por mim. Essa conquista é tão minha quanto sua!*

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela benção da vida e por me manter focado em meus objetivos, e orientação pelos caminhos que trilhei até aqui.

À minha família, meus pais **Ozias Cordeiro** e **Eliete de França Cordeiro**, pelo apoio, dedicação e companheirismo de sempre. Meus irmãos Samuel, Oziete, Elizete e Oziane, por me presentarem com os sobrinhos mais incríveis e por estarem sempre ao meu lado apoiando minhas decisões.

À Universidade Federal do Amazonas e ao programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, pela oportunidade de estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante todo o processo.

Ao professor João Henrique Frota Cavalcanti e a Dra. Priscila Oliveira Silva, pelas orientações, ensinamentos e confiabilidade a mim designada.

Aos colegas da turma do PPGCA 2018/2, Cassiely Betez, Francisca Dionéia Ferreira, Felipe Sant'Anna Calvacante, José Cunegundes Wechner Rodrigues, Genize Kaoany Alves Vasconcelos, Larissa de Souza Saldanha, Léia Beatriz Vieira Bentolila, Maria do Carmo Roberto de Araújo, Paula Caroline dos Santos Silva e Rômulo Henrique Marmentini Vogt, pelos momentos (bons e ruins) compartilhados ao longo desses 2 anos, deixando esse processo mais leve.

A todos os meus professores do PPGCA, pelos conhecimentos compartilhados e por serem peças fundamentais em minha formação.

A toda equipe do Grupo Bioquímica e Fisiologia de Plantas Tropicais (BqFPT), Camila Andréia, Ely Jhones, Laís de Paula, Lucas Realto e Priscila Rodrigues, pela contribuição na realização deste trabalho, ao qual seria impossível sem a dedicação e comprometimento de todos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste projeto, meu muito obrigado, que Deus os abençoe sempre!

Tudo posso naquele que me fortalece!

(Filipenses 4:13)

Um Homem nunca entra duas vezes no mesmo rio, pois quando nele se entra uma segunda vez, já não se encontram mais ali as mesmas águas, e o próprio ser já se modificou, pois estamos sempre em uma evolução constante. Na vida, tudo é regido pela dialética, a tensão e o revezamento dos opostos, onde o real é sempre fruto da mudança. Ou seja, do combate entre os contrários.

(Heráclito)

RESUMO

CORDEIRO, Oziel França. **Resposta ecofisiológica de plantas de *Solanum sessiliflorum* Dunal submetida à supressão hídrica seguida por reidratação.** 2021. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Humaitá – AM, 2021. Orientador: Prof. João Henrique Frota Cavalcanti

As plantas não possuem capacidade de se deslocar para outras áreas quando se deparam com condições adversas, os efeitos causados por tais condições são referidos na fisiologia como estresses. Dentre os diversos tipos, o estresse por déficit hídrico é considerado o principal fator ambiental limitante da produtividade de espécies de interesse econômico. Dito isto, o objetivo deste trabalho foi investigar os efeitos do estresse por limitação hídrica na morfofisiologia de plantas de *Solanum sessiliflorum* Dunal, da etnovarietade I. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas, Campus Humaitá. As plantas de cubiu foram separadas em dois grupos: (a) plantas controle: irrigado diariamente e mantidas próximo a capacidade de campo/pote e (b) plantas sob estresse: submetido à limitação hídrica pelo período de sete dias seguida por reidratadas por mais sete dias subsequentes. Análises biométricas e fisiológicas foram aplicadas com o intuito de compreender como essa cultura responde a essas condições. O efeito da escassez hídrica foi detectado em *Solanum sessiliflorum* por diferenças nos valores de TRA. De maneira geral, folhas de *Solanum sessiliflorum* mostraram drástica redução do status hídrico a partir do quinto dia de privação hídrica alcançando seu nível mais baixo após sete dias. Contudo, o *status* hídrico é reestabelecido rapidamente após período de reidratação. O período sem receber água impactou intensamente seu fenótipo, bem como seu crescimento e acúmulo de biomassa. O desenvolvimento do primórdio foliar de *Solanum sessiliflorum* também foi impactado, assim como crescimento do comprimento e largura do oitavo primórdio foliar foi severamente impactado pela limitação hídrica. No entanto, após a reidratação, voltou-se a apresentar crescimento regular, atingindo valores semelhantes ao de crescimento das plantas irrigadas diariamente. A massa seca (MS) do caule não foi alterada em função do déficit hídrico, enquanto que a MS de folha e raiz apresentaram redução nas condições testadas. Com relação aos parâmetros fisiológicos, observou-se, ainda, para as análises de fluorescência uma redução significativa dos valores de Fv/Fm ao sétimo dia em plantas sob limitação hídrica, assim como um dia após a reidratação. Já os valores médios de qP apresentaram redução a partir do terceiro dia de limitação da água, alcançando valor mais baixo no sétimo dia sem irrigação, contudo, esse parâmetro foi restaurado a níveis semelhantes a plantas irrigadas diariamente. Os valores de NPQ foram maiores em plantas estressadas nos terceiro e quinto dias de ausência de irrigação, indicando um efeito fotoprotetivo a limitação hídrica e voltando a não diferir, significativamente, do grupo controle após esse período. A privação hídrica também afetou negativamente as trocas gasosas (A_n , g_s e C_i), somente no sétimo dia de ausência de água. Quando tomados em conjunto, os resultados de privação hídrica sugerem uma limitação estomática da fotossíntese e posterior limitação bioquímica nas taxas de assimilação de carbono quando a irrigação é restaurada. Os resultados deste trabalho apresentaram uma aparente resiliência dessa cultura ao déficit hídrico imposto no regime de sete dias de restrição de água, ao qual essa espécie apresentou importantes mecanismos morfológicos e fisiológicos de plasticidade a esse tipo de estresse.

Palavras chaves: Déficit hídrico, fotossíntese, maná-cubiu, sociobiodiversidade.

ABSTRACT

CORDEIRO, Oziel França. **Ecophysiological response of *Solanum sessiliflorum* Dunal plants submitted to water shortage followed by rehydration.** 72 f. Dissertation (Master in Environmental Sciences) – Federal University of Amazonas (UFAM), Humaitá – AM, 2021. Advisor: Prof. João Henrique Frota Cavalcanti

Plants are sessile organisms that cannot move when cope with adverse conditions. Such conditions are commonly referred as stresses. Among a range of environmental stress, water shortage is considered the main environmental limiting factor in the productivity of species of economic interest and/or ecological system. That said, the aim of this work was to investigate the effects of water shortage followed by recovery under morpho-physiological aspects in plants of ethovariety 1 of *Solanum sessiliflorum* Dunal. The experiment was conducted in a greenhouse in the Institute of Education, Agriculture and Environment of Federal University of Amazonas, Campus Humaitá. *Solanum sessiliflorum* plants were clustered in two groups: (a) control plants: plant daily irrigated maintained close to field capacity and (b) plants stressed: plants under water shortage during seven days followed by recovery for seven additional days. Biometric and physiological analyzes were performed in order to understand how this culture responds to those conditions. The effect of water shortage was evaluated in *Solanum sessiliflorum* plants by following reduction in the leaf water status measuring WRC. It was observed that from the fifth day of water deprivation WCR level reduced when compared with daily plants reaching the lowest level up to seventh day. Notwithstanding, it was also observed that the water status is restored as soon as water is available. Water shortage impacted severely plant phenotype as well as its growth and accumulation of biomass. The growth (length and width) of the leaf primordium of *Solanum sessiliflorum* was limited under water deprivation. However, after rehydration, the leaf growth was restored reaching in the end of leaf expansion values similar to those of plants daily irrigated. Although dry mass (DM) of the stem showed none difference under water deficit, it was seen that leaf and root DM showed a reduction in such condition. In turn, no significant difference for the shoot / root ratio was found. Regarding to physiological parameters, it was also observed, for the fluorescence analyzes significant reduction in the values of Fv/Fm on the seventh day and one day of water limitation and rehydration, respectively. qP showed a reduction from the third day of water limitation, reaching a lower value on the seventh day without irrigation, however, these values were equaled with the prolonged rehydration. The NPQ values were higher in plants stressed on the third and fifth days of absence of irrigation, suggesting a photoprotective effect caused by water shortage. Moreover, no significant difference in plants rehydrated was found when compared with daily irrigated plants group. Water deprivation also negatively affected gas exchange (An, gs and Ci). When taken together, these findings of water shortage suggesting for a stomatal limitation of photosynthesis followed by a biochemical limitation of carbon assimilation rate when irrigation is restored. Thus, the results stated in this work show a putative resilience of *Solanum sessiliflorum* throughout seven days of water deprivation. In the condition tested in this work, *Solanum sessiliflorum* stated key morpho-physiological features of phenotype plasticity water stress-related.

Keywords: Water deficit, photosynthesis, manna-cubiu, sociobiodiversity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Alterações morfofisiológicas em plantas causadas por deficiência hídrica.....19
- Figura 2** - Estratégia experimental para investigar o efeito da privação hídrica nos aspectos morfo-fisiológico de plantas de *Solanum sessiliflorum*. Plantas de 60 dias de idade foram agrupadas nos seguintes tratamentos: (i) controle, plantas irrigadas diariamente; (ii) estresse, plantas submetidas a limitação hídrica por um período de sete dias seguida por reidratação por período de sete dias subsequentes.....32
- Figura 3** - Variação do teor relativo de água em folhas de plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida à privação hídrica seguida por reidratação. Pontos representam médias de seis repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa o período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).....36
- Figura 4** - Efeito na morfologia de plantas de *Solanum sessiliflorum* em condições de privação hídrica durante período de sete dias seguido por reidratação (recuperação) durante sete dias subsequentes quando comparada com plantas irrigadas diariamente.....37
- Figura 5** - Impacto no crescimento vegetativo de plantas de *Solanum sessiliflorum* causado pela privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) quando comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Altura. (B) Diâmetro do caule. Pontos representam médias de oito repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).....38
- Figura 6** - Dinâmica da expansão do oitavo primórdio foliar de plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida a privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Comprimento do primórdio foliar. (B) Largura do primórdio foliar. Pontos representam médias de oito repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).....39
- Figura 7** - Partição de biomassa em plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida à privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Massa seca folha. (B) Massa seca raiz. (C) Massa seca caule. (D) Razão parte aérea:raiz. Barras representam médias de oito repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Controle 1: plantas irrigadas diariamente durante os primeiros sete dias do experimento; Estresse: plantas sob ausência de irrigação durante os primeiros sete dias do experimento; Controle 2: plantas irrigadas diariamente durante os sete dias subsequentes do experimento; Recuperação: plantas que passaram por déficit hídrico e foram reidratadas durante os sete dias subsequentes do experimento.....41

Figura 8 – Alterações nas medidas de fluorescência da clorofila a em plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida à privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Eficiências máxima do fotossistema II. (B) Quenching não fotoquímico. (C) Quenching fotoquímico. Barras representam médias de seis repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).....43

Figura 9 - Alterações nas medidas de trocas gasosas em plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida à privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Fotossíntese. (B) Condutância estomática. (C) Concentração interna de CO₂. Barras representam médias de quatro repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).....46

LISTA DE TEBELAS

Tabela 1 – Lista dos parâmetros analisados de fluorescência da clorofila a utilizadas para investigar alterações no aparato fotossintético de plantas de <i>Solanum sessiliflorum</i> . Modificado de Murchei e Lawson (2013)	36
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

°C – Graus Celsius

An - Taxa de assimilação de CO₂

ANOVA - Análise de variância

Ci - Concentração interna de CO₂

CO₂ – Gás Carbônico

E - Taxa de transpiração

F₀ - Fluorescência mínima

F_m - Fluorescência Máxima

FSI – Fotossistema I

FSII – Fotossistema II

Fv – Fluorescência Máxima Variável

gs - Condutância estomática

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística

MF – Massa Fresca

MS – Massa Seca

MT – Massa Turgida

NPK – Formulação nutricional para plantas a base de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)

NPQ - quenching não fotoquímico

ONU - Organização das Nações Unidas

PANC - Plantas Alimentícias não Convencionais

Pn - Fotossíntese líquida

qP – quenching fotoquímico

TRA - Teor Relativo de Água

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	JUSTIFICATIVA.....	15
3	OBJETIVOS.....	17
3.1	Objetivo Geral.....	17
3.2	Objetivos Específicos	17
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
4.1	Contextualizando estresse em plantas.....	18
4.2	Consequências e Mecanismos de resposta das plantas a limitação hídrica	19
4.2.1	Mecanismos de escape das plantas aos períodos de seca	21
4.2.2	Mecanismos de evitamento das plantas a seca	22
4.2.3	Mecanismos de tolerância das plantas a seca	22
4.3	Déficit hídrico na agricultura.....	25
4.4	Caracterização socioeconômica da pesquisa	26
4.5	Características gerais de <i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal	27
4.6	Importância dos vegetais silvestres.....	28
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
5.1	Localização do experimento	31
5.2	Material vegetal e condições experimentais	31
5.3	<i>Status</i> hídrico das plantas.....	32
5.4	Análises biométricas	33
5.5	Parâmetros de fluorescência e trocas gasosas.....	33
5.6	Análise estatística	34
6	RESULTADOS	35
6.1	<i>Status</i> hídrico foliar em plantas de cubiu sob estresse por limitação hídrica.....	35
6.2	Impacto da privação hídrica nos parâmetros biométricos de Cubiu	36
6.3	Medição dos <i>quenching</i> fotoquímico e não fotoquímico revela uma coordenação desses parâmetros na resposta de <i>Solanum sessiliflorum</i> a limitação hídrica	42
6.4	Análise de trocas gasosas sugere uma limitação estomática na fotossíntese causada pelo déficit hídrico em plantas de <i>Solanum sessiliflorum</i>	44
7	DISCUSSÃO.....	47
8	CONCLUSÕES.....	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Plantas são organismos sésseis que não podem se deslocar para outras áreas quando se deparam com condições adversas. Tais condições são referidas como estresses, sendo estes agrupados em abióticos (hídrico, salino, alta temperatura, radiação UV, dentre outros) ou bióticos (patógenos e herbívoros) (JEANDROZ E LAMOTTE, 2017). De uma maneira geral, esses estresses afetam a maquinaria fotossintética, com significativo comprometimento das taxas de assimilação de CO₂. Como resultado, há marcante diminuição na biossíntese de carboidratos, impactando negativamente o crescimento e desenvolvimento da planta (SMITH E STITT, 2007; SCHIMPL et al., 2013).

O estresse é caracterizado por qualquer alteração nas condições ambientais que limite a planta a alcançar seu potencial genético pleno, que tem influência direta na reprodução, sobrevivência e estabelecimento dos vegetais. A habilidade dos indivíduos de se ajustarem a diversas situações ambientais é indicador da plasticidade funcional, que é a capacidade de um genótipo de expressar variação nas características adaptativas, funcionais e estruturais em resposta aos fatores ambientais. Um genótipo pode se manifestar com determinada característica em um dado ambiente, e em um segundo ambiente pode assumir a mesma característica ou outra. A quantidade com que um genótipo assume caracteres diferentes, influenciado pelo ambiente, é a medida plástica desse caractere (BRADSHAW, 1965; LAMBERS et al., 2008).

Estresse por limitação hídrica é um dos principais fatores ambientais que limitam o crescimento vegetal e, do ponto de vista agrônomo, diminui a produtividade de espécies de interesse econômico (BASU et al., 2016). Esse tipo de estresse caracteriza-se pela limitação da disponibilidade e/ou capacidade de absorção de água pela planta (SALEHI-LISAR, 2016).

Assim, torna-se, crucial que as plantas apresentem mecanismos anatômicos, morfológicos e fisiológicos para adaptar e/ou responder ao estresse hídrico (HSIOA, 1973). Neste cenário, esses mecanismos para lidar com limitação hídrica podem ser agrupados, a depender da escala de tempo, em respostas: rápidas (fechamento estomático) ou lentas (produtividade). Não obstante, vale ressaltar que as formas e intensidade das respostas ao estresse hídrico são, de certa maneira, únicas entre as espécies vegetais. Portanto, entender e compreender os mecanismos envolvidos nessas respostas é um objetivo central na agricultura mundial, no intuito de desenvolver culturas mais tolerantes a essa natureza de estresse

(CATTIVELLI et al., 2008; MWADZINGENI et al., 2016; WU et al., 2017; TARDIEU et al., 2018).

O impacto do estresse hídrico sob o crescimento e desenvolvimento vegetal tornar-se-á, mais deletério devido as mudanças climáticas, que possivelmente venham provocar aumento na frequência das condições de seca severas (DAI, 2012). Logo, esforços que busquem por variedades e/ou traços agronômicos que melhorem tanto o uso eficiente da água, quanto a produtividade, em condição de privação hídrica, deve ser preponderante para suprir a produção agrícola para uma população que aumenta vertiginosamente nos últimos anos (TESTER E LANGRIDGE, 2010). Logo, tais práticas de melhoramento vegetal são uma condição *sine qua non* para programas de segurança alimentar e crucial para desenvolvimento de bem estar social.

Esse fato a parte, importante mencionar que muitas espécies de valor agronômico nativas da região amazônica são completamente negligenciadas em estudos de fisiologia vegetal, em particular, como estas respondem ao estresse hídrico. Neste cenário, podemos exemplificar o cubiu (*Solanum sessiliflorum*) que é uma espécie pertencente à família *Solanaceae*. Esta planta, também é conhecida popularmente como tomate de índio, maná cubiu, cubiú, entre outros, e mesmo que esta espécie tenha passado por um processo primário de domesticação por indígenas amazônicos, do ponto de vista biológico apresenta-se como uma espécie silvestre (SCHULTES, 1984; SILVA-FILHO et al., 2005). Tal rusticidade pode conter traços agronômicos de tolerância a estresse como será explorado mais à frente.

Com alto potencial agronômico, essa cultura se destaca na região por apresentar frutos de alto valor nutricional importante para promoção da saúde da população, as quais destaca-se o ferro, a niacina, carotenoides, vitamina A e C (RODRIGUES, MARIUTTI E MERCADANTE, 2013), estudos que visem o entendimento fisiológico da espécie tem impacto em estudos relacionados com segurança alimentar. Logo, estudos desse tipo possuem seu caráter social. Portanto, o objetivo principal deste projeto, de caráter inédito, é entender como *Solanum sessiliflorum* responde a limitação hídrica e, também, prover mecanismo que expliquem o sucesso dessa espécie em crescer em áreas degradadas/estressantes.

2 JUSTIFICATIVA

Uma das maiores preocupações atualmente são as alarmantes projeções da produção agrícola mundial em função das mudanças climáticas globais provocadas pelas ações antropocêntricas. Isto, pois desordem nos fatores climáticos como precipitação reduzida e/ou aumento na temperatura do ar e solo serão afetados e, conseqüentemente, impactará negativamente a produção alimentar ao redor do mundo (ALTIERI E NICHOLLS, 2009) colocando, assim, em risco a segurança alimentar de, não somente, humanos, mas também, de todo ecossistema. A busca por estratégias que busquem aumentar a produtividade e a qualidade alimentar, coloca em evidencia também, a necessidade de inclusão dessas novas alternativas de alimento ao nosso cotidiano. O *Solanum sessiliflorum* Dunal se apresenta bastante promissor frente a esse cenário, pois nos últimos anos têm ocorrido crescente valorização de seu fruto no mercado nacional, bem como sua disseminação para outras regiões do território brasileiro, como sul, sudeste e nordeste (BOLDRINI et al., 2016).

O uso de espécies nativas pouco exploradas comercialmente é de extrema importância, pois serve como estratégias para aumentar quantitativamente e qualitativamente os alimentos produzidos, visando uma agricultura, se não mais, sustentável ao menos mais produtiva por área refletindo ganhos tanto nos aspectos econômicos quanto sociais (LIBERATO et al., 2019). Carvalho et al., (2010) afirmam ainda que maximizar a produtividade das culturas é o caminho mais curto para a ampliação da produção agrícola mundial. Embora esse aumento produtivo esteja inteiramente ligado a oferta hídrica as culturas, pois a escassez de água, como já mencionado acima, é um fator ambientais limitante do crescimento e da produtividade dessas.

Os programas de melhoramento genético têm constantemente buscado selecionar plantas mais tolerantes, embora, se têm obtido menor sucesso devido à complexidade das características envolvidas, que é controlada por muitos genes com diferentes efeitos e é afetada pela intensidade do estresse (MORALES et al., 2015). No entanto, é notório a complexidade dessas respostas ao déficit hídrico, visto que sob condições adversas, as plantas desencadeiam uma série de adaptações, que por sua vez pode ser estudada em diferentes níveis, aos quais causam à interrupção dos processos fisiológicos e bioquímicos nas vias celulares e moleculares (ASHRAF E HARRIS, 2013; AFZAL et al., 2014).

Nesse contexto, por apresentar alta rusticidade e adaptabilidade ao ambiente amazônico, a planta de *Solanum sessiliflorum* torna-se um excelente objeto de estudo, com grande potencial para aumentar e melhorar os conhecimentos acerca dos mecanismos de respostas relacionados ao estresse por limitação hídrica. Logo, o entendimento desses mecanismos associados a

resposta/tolerância a esse tipo de estresse pode revelar características únicas de resistência a esses períodos de baixas precipitações, por exemplo, que sejam capazes de auxiliar outras pesquisas nessa mesma temática com outras espécies nativas da Amazônia Ocidental.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Investigar as respostas ecofisiológica de plantas de *Solanum sessiliflorum* Dunal submetida à supressão hídrica seguida por reidratação.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar a tolerância ao estresse por limitação hídrica de plantas de Cubiu a partir de parâmetros biométricos de crescimento e desenvolvimento;
- Avaliar as relações do efeito da limitação hídrica temporária em *Solanum sessiliflorum* Dunal através de parâmetros fisiológicos de fluorescência;
- Investigar as alterações nos parâmetros de trocas gasosas em plantas de cubiu submetidas aos efeitos do estresse por limitação hídrica seguido por recuperação;

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Contextualizando estresse em plantas

Levitt (1980) definiu o estresse como qualquer fator ambiental capaz de induzir alterações nos processos fisiológicos ou funcionais das plantas de forma a prejudicar suas funções naturais. Isto é, em sentido geral pode ser definido como uma pressão excessiva de algum fator adverso que apresente a tendência de inibir o normal funcionamento dos sistemas (NIU et al., 1995). Em qualquer região em que as plantas vivam, haverá diversos fatores que lhes causarão estresses, aos quais limitarão, em maior ou menor grau, o seu crescimento e desenvolvimento. De maneira geral, na falta de algum dos substratos essenciais, as plantas não são capazes de expressar seu máximo potencial genético, ficando assim debilitada e não evoluindo de estádios vegetativos, visto que, o estresse provoca alterações funcionais e prejudica as condições ótimas para a vida vegetal (BIANCHI, GERMINO E SILVA, 2016).

No entanto, os organismos podem responder de forma diferente aos diversos estresses, sendo que muitas vezes seus sintomas podem não ser visíveis de imediato (LARCHER, 2006). Os estresses são divididos em abióticos, cujos fatores edafoclimáticos representam uma grande porção, como déficit hídrico, estresse térmico, choque térmico, resfriamento, congelamento, salinidade e deficiência de oxigênio, que são os principais deles comumente observados (TAIZ E ZEIGER, 2009), e estresses bióticos, causados por organismos vivos, como as plantas, através da competição, alelopatia e parasitismo; pelos microrganismos, através da ação dos fungos, bactérias e vírus; por animais, por meio da herbívoros; e também pela ação do homem, através da poluição, compactação do solo, uso de agroquímicos, fogo, etc... (LARCHER, 2006).

Hussain et al. (2018), explica ainda que dentre esses grupos de estresses, os abióticos são vistos como um dos mais importantes para a agricultura mundial, pois esses fatores ambientais são os que podem ocasionar maiores danos as plantas, e dentre eles, a escassez de água é o mais limitante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e ecológicos (PAIVA et al., 2005), pois afeta as relações hídricas dos vegetais, alterando seu metabolismo, e causando grandes perdas em produtividade (ASGHER et al., 2017; NOGUEIRA et al., 2001). Esse estresse é ocasionado por uma moderada perda de água conduzindo ao fechamento estomático e limitando as trocas gasosas. É caracterizado por uma redução do conteúdo de água, turgência, potencial hídrico total, murcha, e diminuição no alongamento e crescimento celular (OLIVEIRA et al., 2013).

Sua importância na agricultura dá-se do ponto que a água é de fundamental importância para toda a cadeia vital e para a subsistência dos seres vivos (ANA, 2011). Com as plantas não é diferente, segundo Tuner (1986), a distribuição dos vegetais no planeta está diretamente ligada mais a disponibilidade de água, do que a qualquer outro fator do ambiente.

4.2 Consequências e Mecanismos de resposta das plantas a limitação hídrica



Figura 1 - Alterações morfofisiológicas em plantas causadas por deficiência hídrica.

A busca por maiores produtividades tem aumentado a procura por materiais genéticos mais produtivos e adaptados as diferentes condições ambientais. E com mais frequência, as plantas encontram-se sob condições desfavoráveis ao seu desenvolvimento normal (CAMBRAIA, 2005), sendo que a intensidade e os efeitos prejudiciais às mesmas dependerão da duração (FLEXAS et al., 1999) e da severidade dessas condições (FLEXAS et al., 2002), do estágio de desenvolvimento e do genótipo utilizado (TARDIEU et al., 2018), entre outros fatores.

Para Vellini et al. (2008), como resposta à deficiência hídrica, as plantas passam por mudanças fundamentais na relação da célula com a água e seus processos fisiológicos (PIMENTEL, 2005) e morfológicos (CHAVES et al., 2004), influenciando a sua capacidade de tolerar as condições adversas do meio, limitando drasticamente o crescimento das espécies vegetais em várias regiões do mundo. Na região Norte do Brasil, esse fator é também bastante limitante principalmente nos períodos de baixa pluviosidade, o que ocasiona efeitos deletérios que podem afetar a produtividade das plantas. Portanto, torna-se necessário conhecer os

mecanismos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos de resposta das espécies a esse tipo de estresse. Afinal, todos os fatores ambientais que interferem nesse mecanismo de absorção e assimilação de água e nutrientes, terão influência sobre o metabolismo das plantas (TAIZ E ZEIGER, 2004).

Na literatura os efeitos do déficit hídrico nos vegetais são os mais variados. E uma das primeiras respostas da folha ao sinal de seca é o fechamento das células estomáticas, em uma tentativa de diminuir a perda de vapor de água para o ambiente. Essa redução se dá pela perda da pressão de turgor, saída de água das células guardas fechando o estômato (LIM et al., 2015). Esse fechamento é possível graças ao sinal enviado da raiz à folha, iniciando com a perda de turgor nas células do sistema radicular.

Para Taiz e Zeiger (2013), durante períodos de seca, as plantas sofrem déficits hídricos, que levam a inibição do crescimento e da fotossíntese, e um dos sinais ocorre com a inibição da expansão foliar, pois é quando os decréscimos na turgidez, reduzem ou eliminam a força motora da expansão celular. Porém seu efeito na respiração pode ser variável, isso vai depender do órgão afetado e da intensidade do estresse hídrico imposto. Atkin e macherel (2009), explicam que esta diversidade no comportamento respiratório sob déficit hídrico pode ser resultado da atuação de diferentes mecanismos de tolerância.

As plantas desenvolvem mecanismos que lhes permitem perceber o início do estresse, e rapidamente regular sua fisiologia e metabolismo (OLIVEIRA, ALENCAR E GOMÉS-FILHO, 2013), através do ajustamento osmótico com metabólitos osmoprotetores (SARADADEVI et al., 2017; SACK et al., 2018). Esses mecanismos são de extrema importância na manutenção do turgor celular e crescimento das plantas (BLUM, 2016; HAWORTH et al., 2018).

Muitos estudos vêm evidenciando os mecanismos que atuam na redução da perda de água em plantas. No entanto, apesar de ainda muito se debater quais são os sinais efetivos oriundos das raízes que desencadeiam o fechamento estomático nas folhas (TARDIEU et al., 2018), o ácido abscísico (ABA) tem um papel central neste processo (RAGHAVENDRA et al., 2010; DE OLLAS E DODD, 2016), no controle de abertura e fechamento estomático (KUROMORI et al., 2018), e funcionando como um sinalizador de estresse da raiz para a parte aérea (ALBACETE et al., 2014). Outro mecanismo importante é o ajustamento osmótico por meio do aumento na concentração de solutos, tais como, açúcares, glicerol, prolina, glicina betaína, açúcares álcoois, dentre outros (HATZIG et al., 2014; HARSH et al., 2016).

São muitos os indicadores de déficit hídrico descritos na literatura e que podem ser úteis em um programa de melhoramento visando selecionar plantas resistentes ao déficit hídrico. As

respostas das plantas às variações ambientais envolvem uma série de mecanismos (FANG E XIONG, 2015), que desenvolveram ao longo do tempo para se adaptar e/ou superar as situações adversas (BIANCHI, GERMINO E SILVA, 2016). Portanto, estudar sua biologia e fisiologia é fundamental para o conhecimento desses mecanismos que as levam a se adaptarem a essas condições.

Porém, antes de definir as estratégias de resistência das plantas ao déficit hídrico, dois conceitos precisam ser definidos, são eles a aclimação e adaptação à seca. Uma planta é considerada aclimatada quando tem sua tolerância aumentada, como resultado de uma exposição anterior ao estresse, sendo esse, considerado um processo não hereditário, as quais as mudanças fenotípicas produzidas são em detrimento às variações dos fatores ambientais (LARCHER, 2000). Já uma planta em estado de adaptação, possui características adquiridas através dos genes, o que envolve um processo de seleção natural durante muitas gerações (BARRETO E BARBOSA, 2001).

Sob condições de déficit hídrico, das estratégias utilizadas pelas plantas, escape, evitamento e tolerância são considerados os principais deles (FANG E XIONG, 2015). Bianchi, Germino e Silva, (2016), reforçam que esses mecanismos de resistência a seca, permite que a planta ainda seja capaz de ter um conteúdo hídrico favorável, sendo capaz de prevenir, evitar ou resistir aos períodos de seca (TURNER, 1986; LARCHER, 2000).

4.2.1 Mecanismos de escape das plantas aos períodos de seca

O termo escape à seca faz referência a capacidade natural ou induzida de ajustar o crescimento e desenvolvimento da planta a fim de se evitar a estação ou os períodos de escassez de água por longos períodos, levando ao crescimento e florescimento precoces, podendo acarretar na diminuição do número de sementes (FANG E XIONG, 2015). Como alternativa ao escape a seca, as plantas desenvolvem algumas capacidades de superação ao período de estresse, como:

Rápido desenvolvimento fenológico: onde para escapar da dessecação a planta desenvolve habilidades, como por exemplo antes mesmo que seus tecidos sejam atingidos pela deficiência hídrica e, independentemente do solo e/ou do ar estarem secos, a planta possui a habilidade de completar seu ciclo antes que ocorra a falta de água severa, permitindo o rápido desenvolvimento de seu período fenológico (durante o curto período de chuva). Essas plantas são tipicamente encontradas em regiões semiáridas, onde possuem a capacidade de germinar,

florescer e produzir sementes de uma forma rápida, completando seu ciclo antes que a umidade presente em seus tecidos diminua a níveis que possam causar danos (KRAMER, 1995).

Plasticidade: Que é um termo utilizado quando a planta possui a flexibilidade de encurtar ou prolongar seu ciclo em função da quantidade de água ofertada, ou seja, em condições de baixa pluviosidade em determinadas espécies reduzem seu crescimento vegetativo, produzindo uma menor quantidade de flores e sementes, porém havendo a disponibilidade de água no solo, apresentam um vigoroso crescimento vegetativo com várias sementes e flores (LARCHER, 2000).

4.2.2 Mecanismos de evitamento das plantas a seca

O evite é uma outra estratégia de resistência a seca que as plantas possuem, e preveni que os vegetais entrem em estado de desidratação, visando manter altos níveis de água nos tecidos, durante um maior período possível de tempo. Permite a planta manter seu turgor e continuar seu metabolismo mesmo em condições de baixo potencial hídrico, tanto do solo quanto da atmosfera. Tal estratégia é alcançada através da síntese de osmólitos, osmoprotetores ou solutos compatíveis (NGUYEN, BABU E BLUM, 1997). Essa característica pode ser alcançada por meio de uma absorção mais eficiente de água do solo, por uma melhora na capacidade de condução de água, redução da transpiração, ou por meio da formação de estoque de água (BIANCHI, GERMINO E SILVA, 2016).

As plantas possuem uma forma de melhorar a absorção de água através do aprofundamento das raízes, sendo o ácido abscísico (ABA) o responsável por esta função. Segundo Larcher, (2000) para o aumento da capacidade de condução de água há a necessidade de ampliar a área de condução do sistema (maior quantidade de xilema e densa venação das folhas) e reduzir a distância de transporte (internódios mais curtos). As plantas apresentam características típicas estruturais para reduzir a transpiração, através de estômatos menores, epiderme com parede celular densamente cutinizada e com espessa camada de cera, pilosidade e o próprio enrolamento das folhas, justamente para evitar a perda de água (BIANCHI, GERMINO E SILVA, 2016; LARCHER, 2000).

4.2.3 Mecanismos de tolerância das plantas a seca

Diversas medidas que as plantas tomam para tolerar aos períodos de seca, são comumente observadas, dentre as quais como já mencionado anteriormente, destacam-se o fechamento estomático, seguido de inúmeras outras, como: alterações morfológicas; acúmulo

de carboidratos; aumento da atividade da aquaporina; ajuste osmótico; açúcares; proteínas LEA; prolina; proteínas de choque térmico e antioxidantes (TAIZ E ZEIGER, 2013).

Fechamento estomático: Os estômatos são estruturas formadas por um par de células guardas e um poro, chamado de ostíolo, e são responsáveis pelas trocas gasosas nas plantas. É a mudança de forma das células-guarda, ao ficarem turgidas (na presença de água) ou flácida (em estado de déficit hídrico) que leva a entrada de CO₂ para realização da fotossíntese, e a perda de água pelo processo de transpiração. Essa regulação de abertura e fechamento se dá através do balanço de amido e íons K⁺ e Cl⁻ dentro das células-guardas (OLIVEIRA et al., 2002; BIANCHI, GERMINO E SILVA, 2016), sendo que o potencial crítico para o fechamento estomático varia de espécie para espécie (REPELLIN et al., 1994).

Medidas morfológicas: Essas medidas também são consideradas como mecanismos de respostas das plantas e tolerância a dessecação, se apresentando através da manutenção das folhas fontes, perfilhamento, remobilização de reversas (KRAMER, 1980), desenvolvimento de tricomas, pelos radiculares, redução da área e/ou abscisão foliar, induzida em grande parte pela síntese de etileno, o que, segundo Isoda e Wang (2002), permite diminuir a transpiração, além da alteração da orientação das folhas, o que também diminui o ângulo de incidência dos raios solares (TAIZ E ZEIGER, 2004). Uma outra adaptação de defesa ao déficit hídrico é a produção de uma cutícula espessa, que também atua na redução da transpiração (ISAACSON et al., 2009).

O sistema radicular também exerce um papel extremamente importante em condições de escassez hídrica, visto que, as plantas obtêm água e nutrientes por meio de suas raízes. Sob essas condições as plantas possuem capacidade de acentuar o crescimento das raízes no início do período de déficit hídrico, afim de absorver uma maior quantidade de água do solo (HU E XIONG, 2014). O comprimento, peso, volume e densidade das raízes também estão relacionados à tolerância à seca em muitas culturas (PRICE et al., 2002). Um exemplo disso são as raízes das plantas de estepe e de deserto que são capazes de alcançar em média profundidades de 2 a 5 m (TAYLOR E TERRELL, 1982).

Acúmulo de carboidratos: É considerado como uma estabilização protéica, em decorrência da perda de água, induzindo a diminuição do volume celular e levando a um agravamento dos componentes citoplasmáticos, isso faz com que o conteúdo das células fique mais viscoso, causando uma desnaturação de proteínas e fusão de membranas. No entanto, a prolina, o glutamato, glicina-betaína, manitol, frutanos, trealose, sacarose, oligossacarídeos são exemplos de alguns compostos que podem impedir tais interações moleculares adversas

(BIANCHI, GERMINO E SILVA, 2016), mantendo assim as proteínas preferencialmente hidratadas (HOEKSTRA, et al., 2001).

Os açúcares podem realizar o ajuste osmótico através da diminuição do potencial hídrico em situação de escassez hídrica, eles também possuem a capacidade de proteção, e agem protegendo as células durante os períodos de desidratação, esses agentes são chamados de açúcares solúveis, que formam um estado viscoso nas células, diminuindo os processos bioquímicos e minimizando a atividade de espécies reativas metabolizantes de oxigênio (ROSA et al., 2005).

Aquaporinas: São canais de proteínas capazes de facilitar o transporte de água na planta, foram descobertas pelo Dr. Peter Agre em 1988, quando investigava os antígenos dos grupos sanguíneos Rh, e são particularmente abundantes em plantas superiores. Segundo Gaspar (2011), a presença de aquaporinas estão relacionadas as fases de regulação da água e de solutos nas plantas, como por exemplo em estruturas reprodutivas, desenvolvimento e germinação de sementes, e no próprio desenvolvimento de tecidos.

Ajuste Osmótico: A Osmose nada mais é do que um tipo de difusão especial, ao qual a água difunde através de uma membrana com permeabilidade diferencial de um meio com maior potencial hídrico para um de potencial hídrico menor, onde há diminuição da energia livre da água devido a presença de solutos dissolvidos, gerando a passagem de água entre a membrana. Em épocas de escassez hídrica, o turgor da planta precisa ser mantido para que a taxa assimilatória de CO₂ também se mantenha, isso ocorre devido a diminuição do potencial osmótico em função da alta concentração de açúcares, ácidos orgânicos e íons no protoplasma (NEPOMUCENO et al., 1998).

Prolina: Essa é uma outra forma de realizar a osmoproteção das células contra diversos estresses, incluindo o déficit hídrico (HARE E CRESS, 1997), a prolina nada mais é que um aminoácido presente nas proteínas dos organismos vivos, com capacidade de manter o equilíbrio hídrico entre o vacúolo e o citoplasma (ABDUL JALEEL et al., 2007). É considerada um sinalizador de estresse, atuando na redução dos danos causados pelos radicais livres (VERBRUGGEN E HERMANS, 2008), gerando NADP⁺ e atuando na regulação osmótica sob deficiência hídrica (KAVI KISHOR et al., 2005).

Proteínas de Choque Térmico: Essa proteína possui capacidade de responder ao choque de temperatura moderada pela síntese de HSP (Heat Shock Proteins) (HARBORNE, 1997). É provável que esta proteína atue na prevenção da desnaturação proteica (ZHU et al., 1993).

4.3 Déficit hídrico na agricultura

Nas culturas agrícolas a produtividade é limitada pela água e depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso pelo organismo, pois o déficit hídrico é responsável por grande parte da redução da produtividade na maioria das espécies cultivadas (TAIZ E ZEIGER, 2013). Previsões recentes sugerem que, em um futuro próximo, as alterações climáticas tornarão esse problema cada vez mais crítico, resultando em frequentes períodos de seca, com consequências drásticas para ecossistemas naturais e agrícolas, gerando também impactos econômicos às empresas e governos, em decorrência dos custos provocados por tais mudanças (ABREU, FREITAS, E REBOUÇAS, 2017).

Essas projeções indicam que, assim como a maioria das regiões do mundo, nosso país também estará vulnerável aos efeitos dessas mudanças climáticas (SERRÃO et al., 2015), e com a sensibilidade da população e das atividades ao clima, a natureza e o nível dessas mudanças podem ser cruciais para a vida (MARENGO et al., 2011a). Dessa forma, muitos estudos têm se concentrado em estudar as consequências do estresse hídrico no metabolismo de espécies de importância comercial, como *Glycine max*, *Hordeum vulgare* e *Zea mays* (VURUKONDA et al., 2016). Os prejuízos com as secas está presente em quase todos os continentes, principalmente em países como, Canadá, Estados Unidos, China, Austrália e Brasil (ALPINO et al., 2016).

Dentre os elementos do clima, na agricultura a precipitação é a que possui maior influência (ORTOLANI E CAMARGO, 1987), principalmente em regiões tropicais onde o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração (SANTANA et al. 2007). Períodos sem precipitação reduzem a umidade do solo, deixando-o cada vez mais seco. Kobiyama et. al. (2004), definiu a seca como um período prolongado de baixa ou ausência de pluviosidade, onde a perda da umidade do solo é maior que a sua reposição, causando déficit hídrico.

No campo normalmente, o déficit hídrico é causado pela falta de chuvas em áreas que não utilizam a irrigação como recurso para suprir as necessidades hídricas das plantas em períodos de baixas precipitações. Essa limitação da água para as culturas reflete em prejuízos aos agricultores. Em 2014 por exemplo, a produção agrícola, incluindo as lavouras permanentes e temporárias, atingiu 7,5 milhões de toneladas, no entanto em 2016, essa produção foi 21,5% inferior em comparação a 2014, sendo estimada em aproximadamente 5,595 milhões de toneladas (IBGE-LSPA, 2014 e 2016). Sendo prejudicado em grande parte pela crise hídrica devido ao baixo índice pluviométrico registrado (VANDERMAS et al., 2016).

4.4 Caracterização socioeconômica da pesquisa

Até 2050 estima-se que nosso planeta possa alcançar um crescimento populacional de aproximadamente 34,9 %, podendo chegar à marca superior a 9,5 bilhões de habitantes. Essa estimativa aponta que esse aumento no número de indivíduos na terra ocorra principalmente em países em desenvolvimento, onde o número médio de filhos entre as famílias cresce de forma acelerada nos últimos anos (ONU, 2019). A demanda por alimentos também deverá ser ampliada como consequência dessa expansão populacional, bem como sua concentração nas grandes cidades (FAO, 2013).

Nesse contexto, o Brasil aponta como um importante produtor mundial de alimentos e com grande potencial de expansão da oferta na América Latina (SAATH E FACHINELLO, 2018), visto que, há evidências de que a disponibilidade das áreas agrícolas esteja centrada em poucos países, onde cerca de 90% das terras utilizáveis para a expansão agrícola se concentram na América Latina e África-Subsaariana (FAO, 2013). No entanto, segundo dados do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015), mesmo que em ritmo mais lento, nossas áreas agricultáveis continuam em expansão. Porém, devido as preocupações ambientais e a preservação das florestas nativas, têm-se levado ao maior controle sobre a expansão do uso da terra para agricultura no Brasil (SAATH E FACHINELLO, 2018). Logo, a ampliação e a maximização da produtividade das culturas se apresentam como um caminho necessário para o aumento da oferta de alimentos (CARVALHO E FURLANETTO, 2010).

Como já citado, nosso país possui de 15 a 20% das espécies do planeta, e segundo Fioravanti (2016), os pouco mais de 50 mil exemplares de espécies nativas, colocam nosso país como o maior detentor da maior diversidade de espécies do mundo, onde 43% delas são endêmicas. Desta biodiversidade vegetal, aproximadamente um terço das espécies podem ser utilizadas para alimentação (ALTIERI, 2016), visto que, cerca de 10 a 20% delas possui alguma parte comestível, podendo ser considerado um recurso alimentar (BRACK, 2016). O que as enquadra na classificação das PANCs, terminologia essa atribuída por Kinupp (2007), para algumas plantas que possuem uma ou mais partes comestíveis, sejam elas nativas ou cultivadas, e que ainda não estão incluídas na alimentação cotidiana.

Nossa agrobiodiversidade compreende uma ampla diversidade de recursos alimentares de grande relevância para a segurança alimentar e a promoção do desenvolvimento regional sustentável. No entanto, tais espécies ainda são pouco conhecidas e negligenciadas em seu uso, havendo necessidade de maior reconhecimento e utilização de seu potencial. Colocando a

planta de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) como uma planta de alto potencial agrônomo, tendo em vista que as PANCs e as frutas nativas, são espécies resistentes e adaptadas ao meio, e importantes na dinâmica ecológica e na resiliência dos agroecossistemas, além de possuírem características nutricionais diferenciadas com amplo potencial de uso na alimentação humana (POLESI et al., 2017).

O fruto do cubiu possui propriedades nutricionais de grande importância para promoção da saúde das populações, no entanto ainda é pouco procurado pelas grandes indústrias, e seu cultivo é realizado por produtores rurais em pequena escala, (SCHUELTER et al., 2009). O maná-cubiu apresenta propriedades nutritivas como o ferro, a niacina, carotenoides, vitamina A e C de grande importância para a manutenção da saúde humana (RODRIGUES et al., 2013). Esse potencial deve ser apresentado como uma forma de inserir essas frutas na alimentação cotidiana da população brasileira (PEREIRA et al., 2012; CHARRONDIÈRE et al., 2013).

Diante do exposto, e sabendo que, a sociobiodiversidade é um conceito que envolve a relação entre a diversidade biológica, os sistemas agrícolas tradicionais (agrobiodiversidade) e o uso destes recursos atrelados ao conhecimento e cultura das populações tradicionais e agricultores familiares, essa contextualização remete a importância, bem como a necessidade de pesquisas com espécies nativas e regionais do país, assim como incentivar o cultivo destas, pois serviram como alternativas de consumo na alimentação, promoção da saúde e garantia de trabalho aos pequenos agricultores, contribuindo também para conhecimento científico de todos (SERENO et al., 2017).

4.5 Características gerais de *Solanum sessiliflorum* Dunal

O cubiu possui sua origem na região do alto Orinoco, na Venezuela, e dependendo da localidade, recebe diferentes nomes populares. No Peru a espécie é conhecida como topiro, tupiro e cocana, na Colômbia e Venezuela é chamado de cocana, no Nordeste, tomate-de-índio e orinoco apple e peach tomato nos países de língua inglesa (SILVA FILHO et al., 2012; ANDRADE JUNIOR et al., 2017). É normalmente encontrado na Amazônia, do Brasil ao Peru, e nos vales andinos da Colômbia e litoral pacífico do Equador, tanto na forma cultivada como em condições subespontâneas (MASCATO et al., 2015; ANDRADE JÚNIOR et al., 2017). É um dos mais variados recursos genéticos nativos aqui da Amazônia domesticado pelos povos indígenas regionais (SCHULTES, 1984).

Segundo Schultes e Romero Castanheda (1962) e Whalen et al (1981), sua provável progenitora é a espécie *Solanum sessiliflorum* Dunal variedade *georgicum*, os autores ainda

reforçam que a variedade *georgicum* apresenta espinhos na parte do caule em suas folhas e seus frutos apresentam bagas globosas e relativamente pequenas. A perda de espinhos e o aumento no tamanho e variabilidade dos frutos são resultantes da seleção durante o processo de domesticação, ação essa que sendo de maneira consciente ou não, acabou tornando as plantas dependentes da ação do homem e dos ambientes por eles criados (FULLER, 2007; VEASEY et al., 2011). Esses processos de domesticação em suas mais diversas formas ocorre na Amazônia há pelo menos 12 mil anos, em geral no sentido de tornar as espécies nativas aqui da região mais produtiva e segura para o consumo humano (CLEMENT, 1999).

Na Amazônia brasileira, esse vegetal possui sua maior concentração no Estado do Amazonas e a maior variabilidade genética, encontra-se na região do Alto Solimões (SILVA FILHO et al., 2012). Também é encontrado mais esporadicamente nos Estados de Rondônia, Pará, Roraima e Acre (SILVA FILHO, 1998). Devido a sua ampla adaptabilidade ecológica, também é cultivado nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do país (CHAVES et al., 2005; PIRES et al., 2006; SERENO et al., 2017).

Pertencente à família das *Solanaceae*, e gênero *Solanum*, o Cubiu está presente em toda a Amazônia Brasileira, Peruana e Colombiana (YUYAMA et al., 2007). O cubiu é considerado um fruto exótico, por apresentar fruto muito nutritivo de sabor característico e agradável, sendo altamente produtivo e muito utilizado na alimentação e com múltiplas possibilidades de aproveitamento de seu fruto, como na forma de suco, néctares, compotas, doces e outras guloseimas (RIBEIRO E DURIGAN, 2018). Por ser abundante em ferro, niacina, ácido cítrico e pectina, é usado pelas populações tradicionais da Amazônia para diversos propósitos: as folhas e raízes são utilizadas como medicamentos, os frutos como alimento, e o suco do fruto como cosmético (AUGUSTO, 2004).

Atualmente o *S. sessiliflorum* Dunal, aparece como uma espécie bastante rústica e com grande potencial para estudos. Isto se deve ao fato de que seu processo de domesticação ter sido realizada pelos indígenas amazônicos antes da chegada dos europeus na América do Sul (SCHULTES, 1984; revisado em SILVA- FILHO et al., 2005). Esse processo permitiu a produção de uma diversidade genética correspondendo a um banco de germoplasma de, aproximadamente, 30 etnovariedades (SILVA-FILHO, 2002).

4.6 Importância dos vegetais silvestres

Em ciências ambientais existem uma complexidade de conteúdos que podem ser dissertados em pesquisas científicas, esses assuntos geralmente são melhores compreendidos

quando se somam ferramentas e teorias multidisciplinares (LEFF, 2011), que busquem uma abordagem ao qual integre a etnobotânica como interface entre as ciências naturais e a humana. A interação entre os povos tradicionais e a flora está amplamente inserida nesse conceito ambiental (DUARTE, PASA, 2016). Muitos estudos relacionados a essa temática, preveem que nas próximas décadas o acesso aos alimentos será o grande desafio mundial a ser enfrentado, visto que, devido ao crescimento populacional a necessidade de produção em maiores quantidades será cada vez mais eminente. Nas últimas décadas, a base da tecnologia utilizada na agricultura sofreu grandes transformações, impondo sérios desafios para a conservação dos recursos genéticos e para o futuro da segurança alimentar (AMABILE, VILELA, E PEIXOTO, 2018).

Contudo, o acesso à alimentação é declarado como universal, absoluto e abrangente no artigo XXV da Declaração Universal dos Direitos Humanos das Nações Unidas de 10 de dezembro de 1948, e é considerado um direito essencial à sobrevivência da humanidade, e que vem sendo discutido em convenções e acordos internacionais (ROCHA et al., 2013). É através da alimentação que há um reconhecimento de sociedades, caracterizando-a como identidade cultural, por somar os hábitos locais (práticas, costumes, representações, valores e linguagem), indicando a relação entre um determinado grupo e o seu território (PHILIPPI, 2015).

Dentre as milhares de espécies de plantas do planeta, cerca de 3.000 foram utilizadas na agricultura, e dessas aproximadamente 150 são cultivadas em larga escala atualmente, e essas culturas agrícolas nada mais são que, plantas domesticadas a partir de espécies silvestres, onde algumas dessas continuam sobrevivendo em condições naturais. No entanto, seus parentes silvestres vivem sob regras muito diferentes apesar de estarem evoluindo na natureza, onde sobrevivem os mais adaptados aos efeitos da seleção natural (TULER, PEIXOTO E SILVA, 2019).

Nosso país é considerado o principal país detentor de material genético mundial, tanto em relação a diversidade biológica quanto a quantidade de espécies endêmicas, e essa biodiversidade possui alto potencial de recursos naturais e biogenéticos, principalmente os da região amazônica, que servem como base de sustentação da população local (CAMPOS et al, 2012). Nesse cenário as PANCs destacam-se, representadas por espécies comestíveis nativas, exóticas, espontâneas, silvestres ou domesticadas que não fazem parte da cadeia produtiva habitual da população (KINUPP, LORENZI, 2014), onde muitas destas se adaptaram para enfrentar as diferentes condições adversas da natureza para sobreviver. No entanto, sua

utilização em estudos científicos ainda é negligenciada, o que dificulta a disseminação do conhecimento sobre tais (CRUZ et al., 2013).

Nesse contexto, o desenvolvimento de culturas geneticamente modificadas desempenha papel importante na obtenção de maior produtividade agrícola, e a domesticação de espécies silvestres comestíveis oferece inúmeras possibilidades. Com isso o melhoramento genético de plantas vem tendo uma maior importância devido sua contribuição para melhorar o padrão de nutrição da população, aumento das exportações e minimização da dependência da importação de alimentos e combustíveis (AMABILE et al., 2018).

Atualmente, o desafio é identificar de forma rápida e eficiente essa biodiversidade amazônica, procurando disponibilizar informações em auxílio de novos estudos científicos, visto que, somente quando obtemos conhecimento sobre os limites da diversidade biológica local é que poderemos fazer o uso correto dessas (SÁ et al., 2019). Ao serem exploradas com responsabilidade, as PANCs podem ajudar a complementar a renda de muitas famílias, além de oferecer suporte nutricional, e fortalecer a agricultura familiar. E nessa busca, o cubiu é uma alternativa de grandes proporções em nossa região, visto que, quando um indivíduo adquire alimentos orgânicos ele contribui para a promoção de uma alimentação de qualidade e de seus determinantes para a manutenção da saúde adequada, ao mesmo tempo que contribui para valorização à agricultura familiar (FERNANDES E KARNOPP, 2014).

Por tanto, o conhecimento sobre sua diversidade e práticas de gestão agrícola ainda é pouco conhecida, tornando necessário estudos em pesquisas agrícolas capazes de desenvolver estratégias de produções maiores dessa cultura, bem como melhorar o acesso da população local á alimentos alternativos (BALDERMANN et al., 2016; SERRASOLSES et al., 2016).

Alguns estudos já iniciaram a inserção de espécies de plantas selvagens em bancos genéticos, buscando a preservação e melhoramento genético de espécies, dando os primeiros passos a multiplicação e disseminação de sementes de qualidade, ajudando no desenvolvimento da cadeia de valor da biodiversidade agrícola da região (BARBIERI et al., 2014; GALLUZZI et al., 2015). Esses estudos e premissas já evidenciam o importante papel das plantas não convencionais no futuro da alimentação, por apresentarem componentes nutracêuticos, diversidade, produção com menor impacto, agregação de valor e grande capacidade de desenvolvimento da economia.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Localização do experimento

A pesquisa foi conduzida no município de Humaitá, localizado na região sul do Estado do Amazonas, em casa de vegetação do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA/UFAM, sob as coordenadas geográficas (7°30'54.03"S, 63°01'41.35"O), e altitude média de 90 metros (DE LIMA et al., 2020). A zona climática da região do município pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), tipo climático Am (chuvas do tipo monção), segundo a classificação de Köppen, e apresenta uma precipitação média anual variando de 2.250 a 2.750 mm, com período seco, melhor observado entre os meses de junho e agosto. A temperatura média anual é alta, de 24 °C a 26 °C e a umidade relativa do ar de 80 a 90% (SOUSA E YUYAMA, 2015).

5.2 Material vegetal e condições experimentais

Sementes de *Solanum sessiliflorum* Dunal, etnovarietade 1, gentilmente cedidas pela Dr. Danilo Fernandes Silva-Filho, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, foram lavadas e esterilizadas em hipoclorito de sódio comercial (2 a 2,5%) durante 30 minutos. Em seguida, as sementes foram lavadas, ao menos, seis vezes com água destilada. Feito isso, as sementes foram, então, semeadas superficialmente em semeadeiras contendo substrato comercial (TropoMax, composição físico-química descrita pelo fabricante). Por sua vez, as sementeiras foram postas no escuro por 15 dias antes de transferi-las para casa de vegetação em condições de dias neutros e umidade e radiação semi-controlada. Decorrido, aproximadamente, quatro semanas da semeadura, plântulas contendo três folhas jovens foram transferidas para copos plásticos de 500 mL contendo substrato comercial TropoMax suplementado com NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) com proporção 10:10:10. As plântulas ficaram nessas condições até atingirem cinco folhas jovens. Em seguida, essas plantas foram passadas para vasos de 6 L contendo substrato comercial TropoMax suplementado com 20 g.Kg⁻¹ com NPK 10:10:10. Ainda, uma semana após o transplante para os vasos, efetuou-se uma adubação foliar nas plantas, com fertilizante mineral comercial FORTH FRUTAS contendo tanto macro e micronutrientes para permitir um adequado crescimento e desenvolvimento vegetal. As plantas ficaram nessas condições até atingirem sete folhas e, também, visualizadas a emergência da oitava, o primórdio foliar. Neste momento foi aplicado o estresse por limitação hídrica. Portanto, um grupo de plantas controle foi irrigado diariamente, mantendo a capacidade de

campo/pote próximo a 100%, e outro grupo de plantas, estresse, no qual foi submetido à limitação hídrica por sete dias, sendo reidratadas após o estresse, por período igual (Figura D).

As avaliações biométricas, foram realizadas diariamente ao longo de todo experimento, enquanto que as avaliações fisiológicas foram realizadas a cada dois dias, sendo aferidas nos dias 1, 3, 5 e 7 durante período de restrição hídrica, e nos dias 8, 10, 12 e 14 para coleta dos dados no período de reidratação das plantas. E mais, material vegetal foi coletado em nitrogênio líquido e armazenado em -80 °C para realização das análises bioquímicas e moleculares. Contudo, vale ressaltar, que essas análises não foram realizadas neste trabalho.

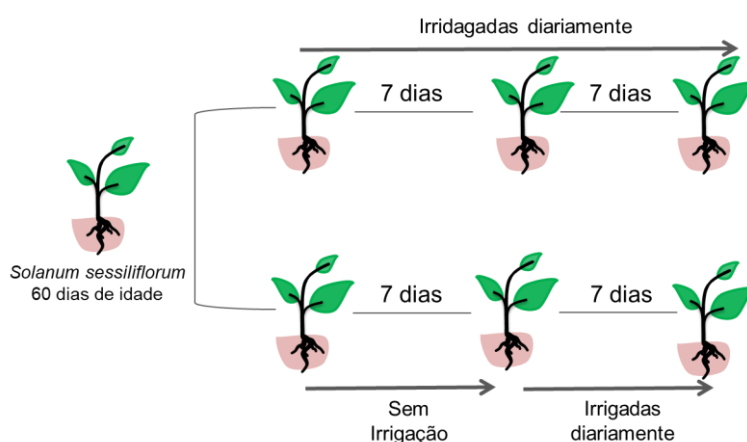


Figura 2 - Estratégia experimental para investigar o efeito da privação hídrica nos aspectos morfo-fisiológico de plantas de *Solanum sessiliflorum*. Plantas de 60 dias de idade foram agrupadas nos seguintes tratamentos: (i) controle, plantas irrigadas diariamente; (ii) estresse, plantas submetidas a limitação hídrica por um período de sete dias seguida por reidratação por período de sete dias subsequentes.

5.3 Status hídrico das plantas

O teor relativo de água (TRA) foi determinado para avaliar o *status* hídrico da planta (Barrs e Weatherley, 1962). Para se avaliar o *status* hídrico da folha, 20 discos foliares (0,5 cm de diâmetro) foram coletados da folha completamente expandida mais jovem. Os discos foram, então, pesados para se determinar a massa fresca (MF). Feito isso, a massa túrgida (MT) foi mensurada submetendo os discos foliares a uma fina camada de água durante quatro horas. Por fim, os discos foram postos em estufa a 72 °C por 72 horas com intuito de se determinar a massa seca (MS). Dessa forma, o teor relativo de água de folhas foi calculado como descrito pela equação abaixo:

$$TRA (\%) = \frac{MF - MS}{MT - MS} \times 100$$

5.4 Análises biométricas

As análises de crescimento, tais como altura, diâmetro do caule, número de folha e expansão do oitavo primórdio foliar foram realizadas diariamente durante todo o período experimental. A medida de altura foi realizada com auxílio de uma régua milimetrada de 50 cm e as medidas de diâmetro com paquímetro digital. Além das variáveis alométricas acima descritas, nesta pesquisa também foram analisadas outras variáveis referentes à biomassa seca dos indivíduos de *Solanum sessiliflorum* sob diferentes tratamentos de regime hídricos conforme descrito por Martins (2013). A massa seca foi determinada ao fim do período de privação hídrica (sete dias) e após, também, período de reidratação/recuperação (sete dias subsequentes). Para a determinação da massa seca de cada órgão (raízes, caule e folhas), as amostras foram coletadas e levadas a uma estufa de circulação forçada e mantidas a 70 °C, durante 72 h. De posse da massa seca desses órgãos foi determinada a partição de matéria seca para os diversos constituintes da planta, além da razão raiz/parte aérea. Por fim, a cinética de expansão foliar foi determinada durante 33 dias sendo mensurada em intervalos de três dias como descrito por Silva et al. (2019).

5.5 Parâmetros de fluorescência e trocas gasosas

A fluorescência da clorofila *a* foi determinada utilizando o sistema PAM-2500 (Portable Chlorophyll Fluorometer; WALZ) como descrito por Genty et al. (1989). Dito isso, os seguintes parâmetros foram determinados: fluorescência mínima da folha adaptada ao escuro (F_o), fluorescência máxima da folha adaptada ao escuro (F_m), fluorescência máxima variável (F_v), máxima eficiência quântica do FSII (F_v/F_m), e quenching fotoquímico (qP) e não fotoquímico (NPQ), ver Tabela 1. Para determinar o valor de F_v/F_m , as folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos e, posteriormente, expostas a pulso de luz saturante de $6000 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e comprimento de onda de 650 nm durante 1 s (GONÇALVES E SANTOS JUNIOR, 2005). Por sua vez, parâmetros de luz, tais como qP e NPQ foram determinados após a leitura de escuro aplicando luz fotossinteticamente ativa de $2000 \mu\text{mol}$ de fótons $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ por minuto.

Tabela 1. Lista dos parâmetros analisados de fluorescência da clorofila *a* utilizadas para investigar alterações no aparato fotossintético de plantas de *Solanum sessiliflorum*. Modificado de Murchei e Lawson (2013).

Parâmetro	Equação	Definição
F_v/F_m	$(F_m - F_o)/F_m$	Rendimento quântico máximo do PS II
NPQ	$F_m - F_m'/F_m'$	Dissipação não fotoquímica
qP	$F_m' - F'/F_m' - F_o'$	quenching fotoquímico

As medições de trocas gasosas foram obtidas, por sua vez, utilizando um analisador de gás infravermelho, IRGA (LICOR-6400) nas mesmas folhas submetidas a análises de fluorescência. As medições foram realizadas no período entre 08:00 e 12:00 horas para obtenção dos seguintes variáveis: taxas de fotossíntese líquida (A_n), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i) e respiração no escuro (R_d). A eficiência no uso da água (EUA) foi calculada pela razão entre as taxas de fotossíntese líquida e transpiração. Vale ressaltar que o IRGA foi ajustado para o fluxo constante de $400 \mu\text{mol s}^{-1}$ de concentração de CO_2 .

5.6 Análise estatística

O experimento foi realizado utilizando delineamento inteiramente casualizado contendo para análises biométricas, crescimento e fluorescência, ao menos, oito repetições. Por sua vez, teor relativo de água e análise de trocas gasosas foi aplicado ao menos seis repetições. Os resultados foram submetidos a teste de hipótese teste t de Student a 5% ($p < 0.05$) de significância.

6 RESULTADOS

6.1 *Status* hídrico foliar em plantas de cubiu sob estresse por limitação hídrica

Apesar do conhecimento geral acerca dos mecanismos de resposta a condições de privação hídrica serem extensamente caracterizados e, também, bastante difundidos dentro do clado de plantas, muitas espécies ainda possuem limitados estudos com relação as suas respostas ecofisiológicas e/ou fisiologia do estresse. Neste caso, encontra-se *Solanum sessiliflorum*, uma espécie silvestre nativa da região amazônica. Portanto, neste trabalho submetemos ao estresse por limitação hídrica a etnovarietade 1 de *Solanum sessiliflorum*.

A escolha da etnovarietade deu-se devido sua morfologia de fruto possuir semelhanças com fruto do tomate *Solanum lycopersicum* M82. Para isso, uma série de análises biométricas e fisiológicas foi usada para compreender como *Solanum sessiliflorum* responde a condições de privação hídrica seguido por um período de reidratação.

A intensidade da exposição à limitação hídrica em função do tempo do experimento foi mensurada a partir da avaliação do teor relativo de água (Figura 3). Diferenças significantes no *status* hídrico de folhas de *Solanum sessiliflorum* foram vistas a partir do quinto dia de privação hídrica alcançando seu nível mais baixo no sétimo dia sem rega (Figura 3). Por sua vez, o *status* hídrico é reestabelecido rapidamente após período de reidratação. Após um dia de reidratação, as plantas ora estressadas com ausência de irrigação não apresentaram diferenças significativas com as plantas do grupo controle que tiveram sua irrigação diária e constante, mantendo o *status* hídrico próximo à capacidade de campo.

Esses resultados, apesar de esperados, validam o desenho experimental do trabalho mostrando que o período de privação hídrica resultou em uma diminuição do *status* hídrico. E mais, que a recuperação do *status* hídrico das plantas foi restaurado prontamente logo após o início da reidratação.

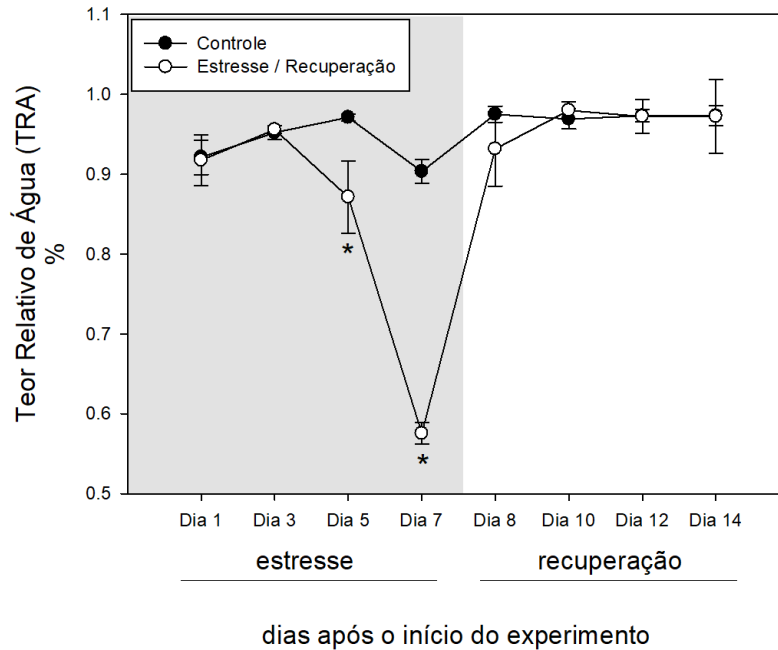


Figura 3 - Variação do teor relativo de água em folhas de plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida à privação hídrica seguida por reidratação. Pontos representam médias de seis repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa o período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).

6.2 Impacto da privação hídrica nos parâmetros biométricos de Cubiu

A par dos dados anteriores, contudo, é necessário fazer uma ressalva com relação ao reestabelecimento do *status* hídrico das plantas submetidas à privação hídrica. Apesar dessa variável não diferir das plantas controle ao fim do experimento, o período pelo qual as plantas de *Solanum sessiliflorum* passaram sem receber água impactou intensamente o seu fenótipo bem como crescimento e acúmulo de biomassa (Figuras 4, 5, 6 e 7). De maneira semelhante ao que foi visto no teor relativo de água, o fenótipo das plantas sob limitação hídrica mostrou intensa murcha no sétimo dia e, logo, após o fim do tempo de reidratação as plantas estavam túrgidas. (Figura 4). Contudo, as plantas estressadas sofreram, em várias de suas folhas, abscisão devido à forte senescência induzida pelo tempo no qual permaneceram no estresse (Figura 4).

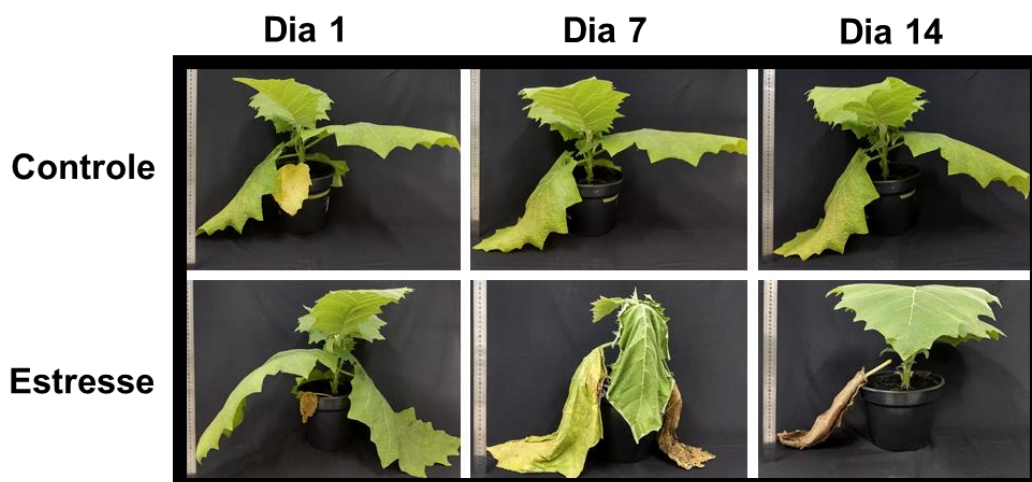


Figura 4 - Efeito na morfologia de plantas de *Solanum sessiliflorum* em condições de privação hídrica durante período de sete dias seguido por reidratação (recuperação) durante sete dias subsequentes quando comparada com plantas irrigadas diariamente.

O impacto no crescimento de plantas de *Solanum sessiliflorum* durante a privação hídrica e posterior reidratação (recuperação) foi investigado a partir de medidas de altura da planta e diâmetro do caule (Figura 5). Nesse contexto, as plantas de *Solanum sessiliflorum* reduziram seu crescimento, de maneira significativa, em altura a partir do quinto dia sob privação hídrica (Figura 5a). Ademais, importante mencionar que durante os dias subsequentes as plantas em estresse cessaram seu crescimento voltando a apresentar crescimento em altura somente após irrigação. Não obstante, mesmo após a reidratação, essas plantas não foram capazes de igualar altura média das plantas controle. Por outro lado, o diâmetro do caule apesar de ter seu crescimento reduzido no tratamento de ausência de água não mostrou diferenças significativas quando comparado ao tratamento controle, com plantas irrigadas diariamente (Figura 5b).

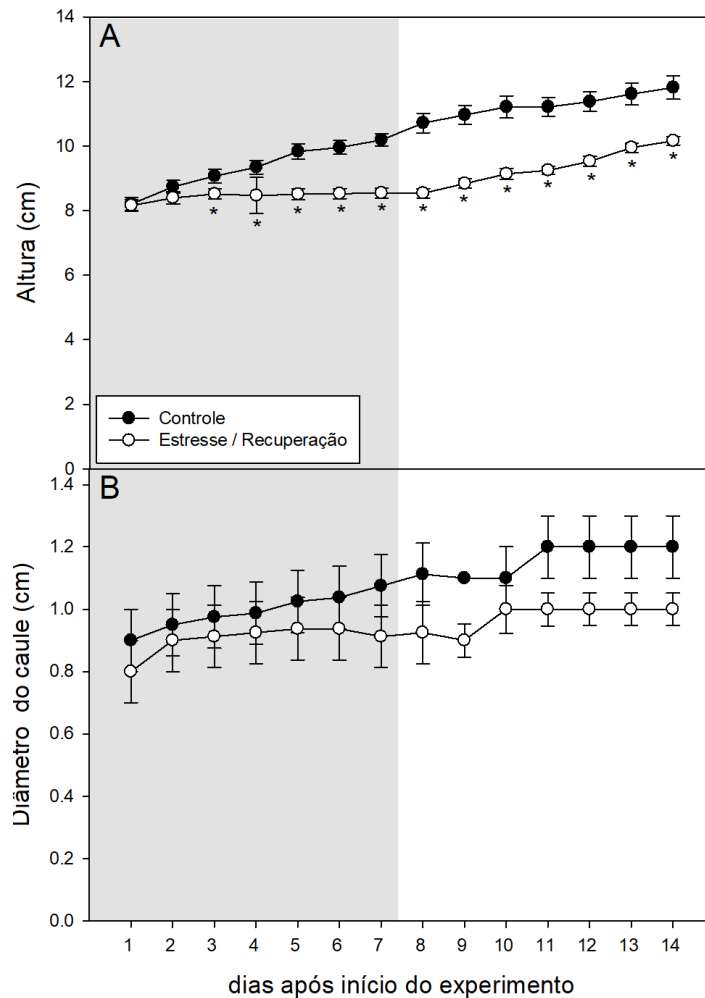


Figura 5 - Impacto no crescimento vegetativo de plantas de *Solanum sessiliflorum* causado pela privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) quando comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Altura. (B) Diâmetro do caule. Pontos representam médias de oito repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).

O impacto da limitação hídrica também foi avaliado no crescimento foliar (Figura 6). Tendo em mente que a água é um fator importante no alongamento celular, foi avaliado impacto do déficit hídrico na dinâmica da expansão foliar (Figura 6). Para isso, foi acompanhado o desenvolvimento da oitava folha de *Solanum sessiliflorum*, que antes da aplicação do estresse, era o primórdio foliar mais jovem em desenvolvimento. Assim como altura, o crescimento em comprimento e largura do oitavo primórdio foliar foram afetados pela limitação hídrica, mas após a reidratação este voltou a apresentar crescimento regular (Figura 6).

Importante destacar que ao contrário das demais análises, medição da expansão foliar prosseguiu até próximo aos 33 dias de crescimento. Isso se deu, pois era necessário determinar se o período de sete dias sem água impactaria a expansão foliar final. De maneira interessante, tanto comprimento quanto largura do oitavo primórdio foliar não apresentaram redução final do crescimento e, até, alcançaram os tamanhos similares aos verificados no primórdio foliar das plantas controle.

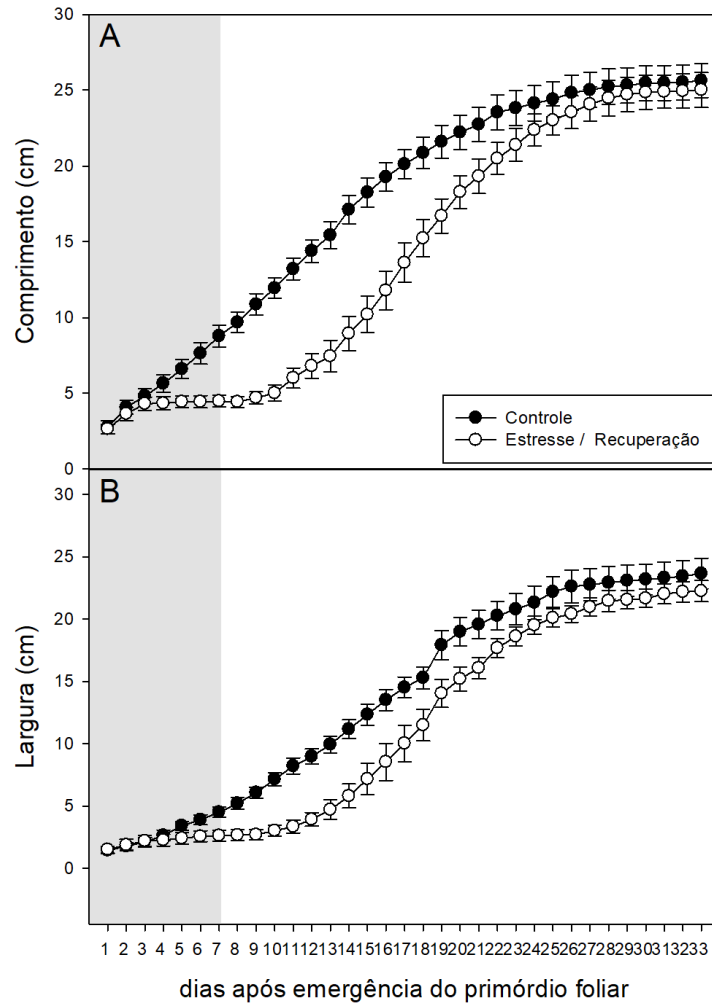


Figura 6 - Dinâmica da expansão do oitavo primórdio foliar de plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida a privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Comprimento do primórdio foliar. (B) Largura do primórdio foliar. Pontos representam médias de oito repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).

Apesar dos valores de crescimento como altura, diâmetro do caule, e expansão foliar, todas as medições em base de centímetro, mostrarem-se afetados pela limitação hídrica, avaliações de biomassa também foram usadas para medir o crescimento, bem como partição de

matéria. Ao longo do experimento, plantas irrigadas e sob déficit hídrico foram coletadas para mensurar massa seca de folha, caule e raiz ao fim dos sete primeiros dias, enquanto uma nova coleta foi realizada agora em plantas irrigadas e reidratadas ao fim dos sete dias subsequentes (Figura 7). Como já esperado, embora massa seca de caule não tenha alterado em função do déficit hídrico, massa seca de folha e raiz reduziram nessa condição (Figura 7a-c). O mesmo padrão foi observado após sete dias de reidratação em que os valores absolutos foram superiores aos do período de privação hídrica, mas ainda assim menores significativamente ao controle (Figura 7a-c).

Por fim, para investigar possíveis alterações na partição de matéria causadas pela ausência de irrigação, provemos a razão parte aérea / raiz (Figura 7d). Não obstante, não foi visto qualquer diferença significativa nesse parâmetro.

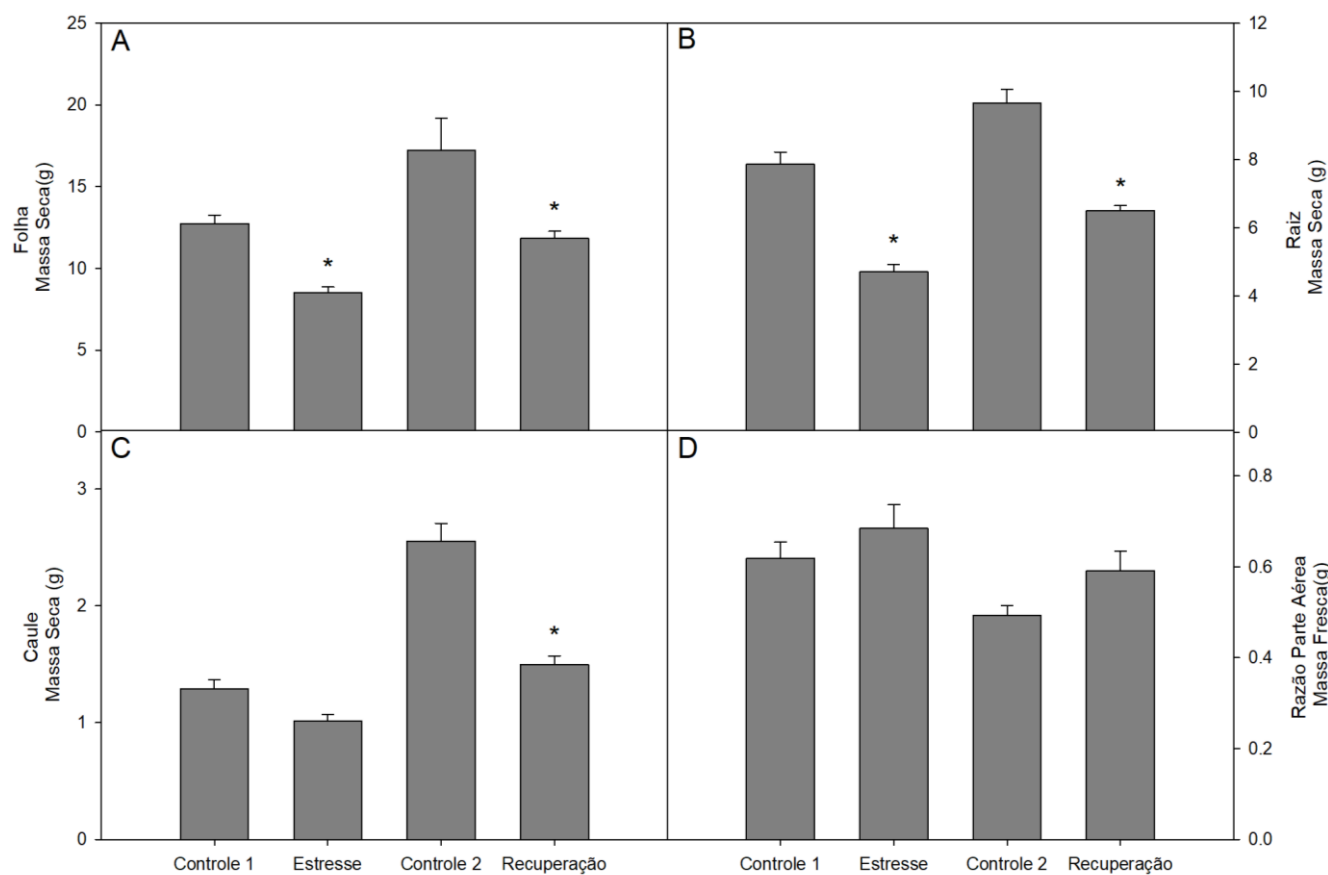


Figura 7 - Partição de biomassa em plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida à privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Massa seca folha. (B) Massa seca raiz. (C) Massa seca caule. (D) Razão parte aérea:raiz. Barras representam médias de oito repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Controle 1: plantas irrigadas diariamente durante os primeiros sete dias do experimento; Estresse: plantas sob ausência de irrigação durante os primeiros sete dias do experimento; Controle 2: plantas irrigadas diariamente durante os sete dias subsequentes do experimento; Recuperação: plantas que passaram por déficit hídrico e foram reidratadas durante os sete dias subsequentes do experimento.

6.3 Medição dos *quenching* fotoquímico e não fotoquímico revela uma coordenação desses parâmetros na resposta de *Solanum sessiliflorum* a limitação hídrica

Os resultados anteriores proveram indícios para entender as consequências do estresse hídrico no crescimento vegetativo de plantas de *Solanum sessiliflorum*. Não obstante, as alterações bioquímicas que são impactadas culminando com a desordem no crescimento dessa espécie ainda necessitam ser investigadas. Tendo isso em mente, foi voltado atenção para determinação dos parâmetros fotoquímicos da fotossíntese. Isto é, avaliando a dinâmica do aparato fotossintético com relação a eficiência máxima do fotossistema II (Fv/Fm) bem como *quenching* fotoquímico (qP) e *quenching* não fotoquímica (NPQ) (Figura 8). A quantificação do Fv/Fm é um importante indicador de estresse em tecidos fotossintetizantes (OH et al., 1996). Os dados obtidos mostraram uma redução significativa dos valores de Fv/Fm somente ao sétimo dia em plantas sob limitação hídrica quando comparado com plantas irrigadas e, também, um dia após a reidratação (Figura 8a). Esses resultados são interessantes considerando que somente com uma intensa redução do *status* hídrico foliar (Figura 3), no sétimo dia sob déficit hídrico, um pequeno dano na atividade do fotossistema II pode ser observado.

Em seguida foi mensurado o NPQ (Figura 8b). Esse parâmetro é um processo de liberação de energia na forma de calor como medida fotoprotetiva na cadeia transportadora de elétrons cloroplastídica para conseqüente, prevenção da formação de espécies reativas de oxigênio (MURCHIE E LAWSON, 2013). Os valores de NPQ foram maiores em plantas estressadas de *Solanum sessiliflorum*, quando comparada com grupo controle de plantas irrigadas, no terceiro e quinto dia de ausência de irrigação, e voltando a não diferir mais significativamente do grupo controle (Figura 8b). Estes achados sugerem que no início da deficiência hídrica, plantas de *Solanum sessiliflorum* liberam energia luminosa captada pelo fotossistema II na forma de calor como mecanismo fotoprotetivo, descrito acima, e posteriormente, mais possivelmente, outros mecanismos, não abordados neste trabalho, devem complementar a resposta fotoprotetiva resultante da privação hídrica.

Com início da reidratação, as plantas ora estressadas, também, não diferiram significativamente das plantas diariamente irrigadas. Não obstante, nos dias finais do experimento, valores maiores de NPQ foram observados nas plantas reidratadas (Figura 8b). Embora, em um primeiro momento, a privação hídrica tenha afetado pouco Fv/Fm, essa condição estressante mudou de maneira mais intensamente o parâmetro de qP (Figura 8c).

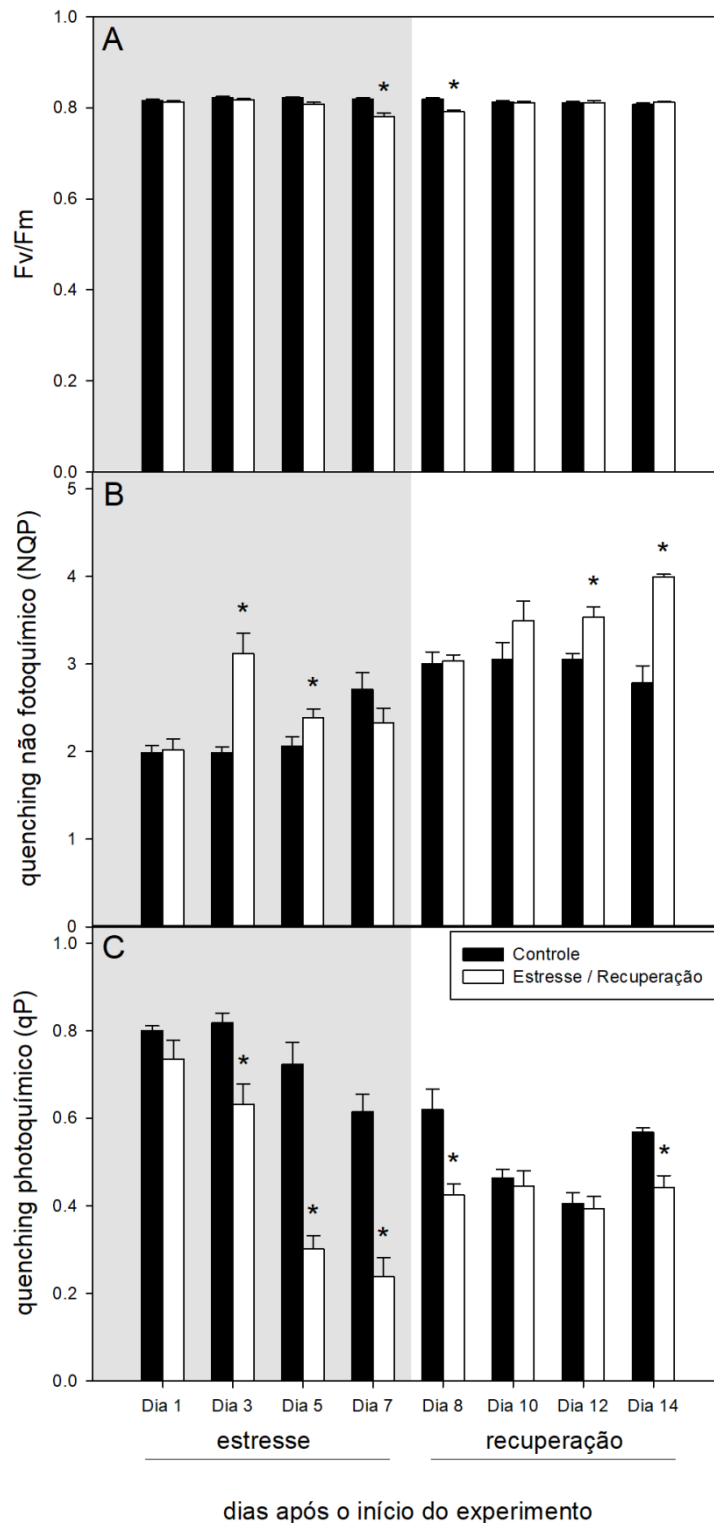


Figura 8 - Alterações nas medidas de fluorescência da clorofila a em plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida à privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Eficiências máxima do fotossistema II. (B) Quenching não fotoquímico. (C) Quenching fotoquímico. Barras representam médias de seis repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).

O *Quenching* fotoquímico é a porção de energia luminosa utilizada para, de fato, realizar o processo fotoquímico da fotossíntese, ou seja, síntese do produto final da cadeia transportadora de elétrons cloroplastídica, NADPH (MURCHE E LAWSON, 2013). Nas condições experimentais deste trabalho, mostrou-se que qP reduziu de maneira significativa em plantas estressadas a partir do terceiro dia de limitação hídrica quando comparado com plantas irrigadas (Figura 8c). E mais, o valor mais baixo de qP em plantas estressadas foi visto no sétimo dia sem irrigação. No dia seguinte a reidratação, qP ainda apareceu significativamente reduzido quando comparado ao tratamento controle.

Contudo, os valores foram igualados com a continuidade da reidratação. Apesar desses resultados indicarem uma correção e restauração do transporte de elétrons durante o período de iluminação, no último dia do experimento, o grupo de plantas que passaram por déficit hídrico seguido por reidratação apresentou valores médios de qP abaixo do grupo controle (Figura 8c), assim, como observado também no NPQ (Figura 8b). Apesar de não ser uma trivial explicação, é provável que as folhas ao fim do experimento, mesmo no tratamento controle (irrigação diária ininterrupta) já apresentem sinais de senescência natural. Assim, ao décimo quarto dia de experimento esse efeito foi potencializado pelo período de privação hídrica no qual as plantas estressadas foram submetidas.

Quando tomados em conjuntos, os resultados mostrados aqui revelam as primeiras resposta e alterações do aparato fotossintético em *Solanum sessiliflorum* em condições de limitação hídrica. Ademias, mostra a dinâmica da atividade do fotossistema II na presença de luz na coordenação da energia utilizada para dirigir o processo fotoquímico, qP, e a porção dessa energia dissipada como mecanismo protetor pelo NPQ.

6.4 Análise de trocas gasosas sugere uma limitação estomática na fotossíntese causada pelo déficit hídrico em plantas de *Solanum sessiliflorum*

Após investigar os parâmetros fotoquímicos da fotossíntese que podem dar indícios das alterações causadas pelo déficit hídrico em plantas de *Solanum sessiliflorum*, foi voltado atenção para os processos de trocas gasosas relacionados com as taxas de assimilação de CO₂ (Figura 9). A privação hídrica em si reduziu de maneira significativa as taxas fotossintéticas (An) em plantas estressadas somente no sétimo dia de ausência de água (Figura 9a). Após a reidratação, os valores já são semelhantes a plantas irrigadas diariamente (Figura 9a). Na

tentativa de entender a redução em A_n , foram mensurados, também, condutância estomática (g_s) e concentração interna de CO_2 (C_i). A diminuição desses dois parâmetros no sétimo dia de privação hídrica, assim como o que visto anteriormente para A_n , dá indícios que a redução da assimilação de CO_2 está mais relacionada com limitação estomática da fotossíntese (Figuras 9b e 9c).

Por outro lado, após a reidratação tanto g_s quanto C_i apresentaram em plantas que passaram pela limitação hídrica valores maiores significativamente do que plantas irrigadas diariamente (Figuras 9b e 9c). Portanto, quando tomado em conjunto é plausível que a maior g_s , culminando com maior C_i na câmara estomática, e não alteração de A_n seja um indicativo de limitação bioquímica causada por danos no Ciclo de Calvin-Benson durante o período de privação hídrica.

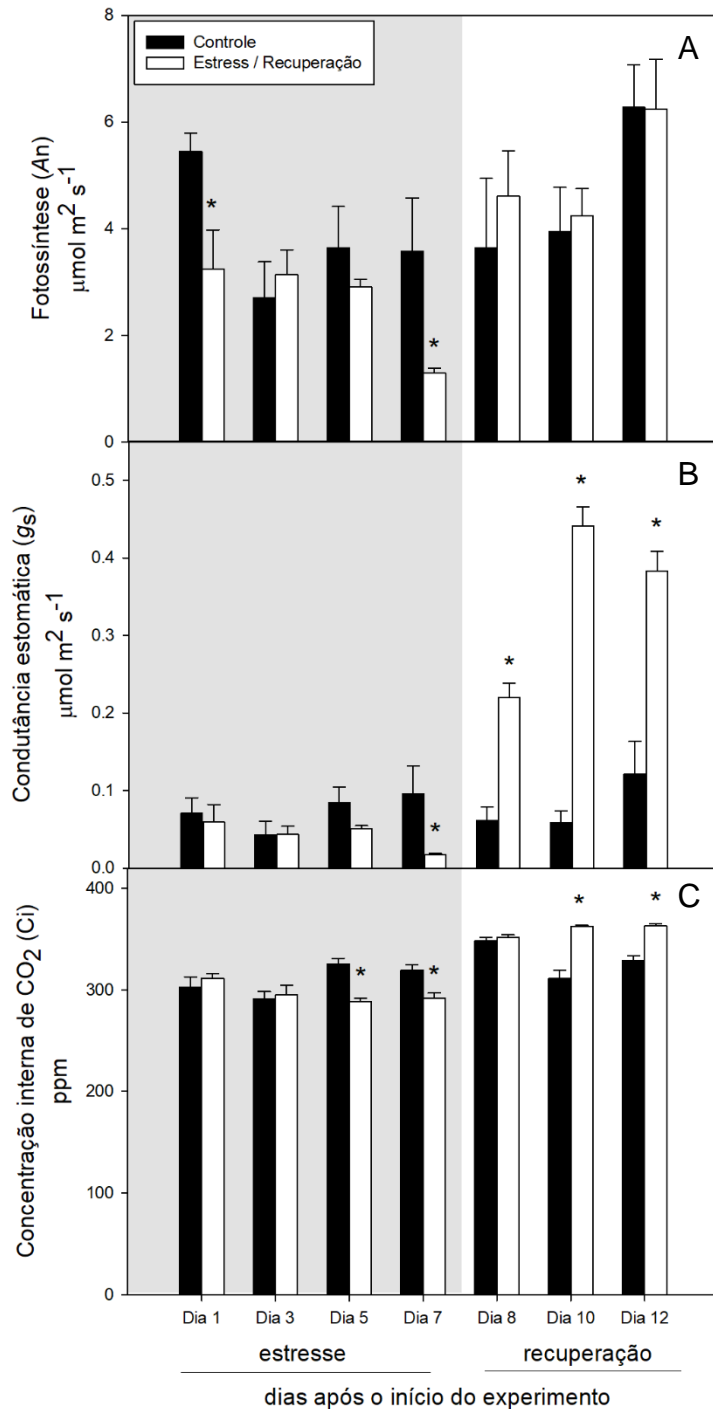


Figura 9 - Alterações nas medidas de trocas gasosas em plantas de *Solanum sessiliflorum* submetida à privação hídrica seguida de reidratação (recuperação) comparada com plantas irrigadas diariamente. (A) Fotossíntese. (B) Condutância estomática. (C) Concentração interna de CO₂. Barras representam médias de quatro repetições \pm erro padrão. ‘*’ representam diferença estatística $p < 0,05$ através do teste t de Student. Fundo cinza representa período de sete dias sob privação hídrica. Fundo branco representa período sequencial de sete dias de reidratação (recuperação).

7 DISCUSSÃO

O crescimento, quase que exponencial, da população global culmina em uma força maior na produção e demanda de alimentos (SAATH e FACHINELLO, 2018). Portanto, projetos e estudos que visem o melhoramento e produtividade de espécies cultivadas tornam-se preponderantes para a agricultura moderna. O gênero *Solanum*, por sua vez, é composto por uma extensa variedade de culturas importantes (e.g. batata, berinjela, tomate) presentes na dieta de quase todas sociedades ao redor do mundo. Não obstante, estudo de muitos membros desta família ainda pouco conhecidos pela agricultura pode ser uma abordagem adequada para produção de alimentos por meio de doação germoplasma para melhoramento genético de plantas (AMABILE, VILELA e PEIXOTO, 2018).

O estudo de espécies silvestres do gênero *Solanum* pode trazer conhecimento a respeito de como essas plantas ajustam ao ambiente. A exemplo, sequenciamento do genoma de *Solanum pennellii*, um tomate silvestre e tolerante a condições de estresses ambientais, revelou genes candidatos a resposta de estresse que podem ser introgrididos em tomate comercial *Solanum lycopersicum* (BOLGER et al., 2014). Na verdade, a introgressão (substituição) de porções do genoma de *Solanum pennellii* em segmentos correspondentes no genoma *Solanum lycopersicum* culminou em traços agrônômicos vantajosos (de OLIVEIRA-SILVA et al., 2016). Neste contexto, *Solanum sessiliflorum*, uma espécie nativa da região Amazônica, pode revelar mecanismos úteis, em repostas a estresses de maneira geral, para programas de melhoramento genético bem como já utilizado em outros tomates silvestres, como em *Solanum pennellii* ou *Solanum sitiens* (BOLGER et al., 2014).

Ademais, o fato de *Solanum sessiliflorum* conter um banco de germoplasma de, aproximadamente, 30 etnovarietades apresentando alterações nas suas características fenotípicas pode ser importante na forma de responder a estresse em geral. Isto se relaciona, pelo menos parcialmente, com variação genética natural de uma espécie em que diversidade biológica do pool genético da população responde de maneira distinta ao ambiente (FLOOD et al., 2011). Assim, desde que repostas (anatômica, fisiológica) ao estresse são denominados plasticidade fenotípica (NICROTA et al., 2010), análises em germoplasmas de uma espécie pode resultar com a descoberta de traços plásticos relacionados a maior tolerância e/ou adaptação a mudanças ambientais (HENDERSON e SALT, 2017). Por sua vez, uma ressalva deve ser feito no entendimento de como os polimorfismos genéticos podem ser expressos na tentativa de adaptar-se a mudanças ambientais ainda deve ser estudado (HENDERSON E SALT, 2017).

Dito isso, o estudo dessa população de *Solanum sessiliflorum* como potencial aplicação biotecnológica em *Solanaceae* comerciais (já dito acima). Vale ressaltar, contudo, que *Solanum sessiliflorum* é uma espécie negligenciada em estudos de ecofisiologia vegetal e/ou fisiologia do estresse. Na verdade, muito do conhecimento dessa espécie ocorre relacionado a característica físico-química de seus frutos com apelo voltado para indústria alimentícia e, em alguns pontos, farmacêutica (SPREY et al., 2019). Portanto, este trabalho teve como objetivo pavimentar o conhecimento acerca da biologia dessa espécie a condições de limitação hídrica, um dos estresses ambientais mais deletérios para o crescimento e produtividade vegetal, antes de um estudo global com todas etnovarietades conhecidas.

Para isso, utilizamos plantas da etnovarietade I de *Solanum sessiliflorum*, e uma série de análises biométricas e fisiológicas para compreender como essa espécie responde a condições de privação hídrica seguido por um período de reidratação. Vale ressaltar, também, que os resultados deste trabalho serão discutidos com literatura especializada com estudos voltados para espécies do gênero *Solanum*, principalmente, tomate comercial, *Solanum lycopersicum*.

A redução do TRA em plantas já é esperada devido à limitação hídrica (MORANDO, CARVALHO E PINHEIRO, 2014). Contudo, uma comparação na velocidade de perda de água, e diminuição do status hídrico foliar, entre duas espécies de *Solanum* foi realizada por Egea et al. (2018). Neste trabalho, comparou-se *Solanum lycopersicum* e *Solanum peruvianum*, tomate silvestre, submetidos a quatro dias sem água. Enquanto *Solanum lycopersicum* reduziu para próximo de 80% TRA, *Solanum peruvianum* manteve seu status hídrico foliar próximo a 85%. Nosso resultado, apesar de não terem medidos TRA nos quartos dias sem água, mostrou que *Solanum sessiliflorum* mantém, ao quinto dia de privação hídrica, valor próximo a 85% (Figura 2). Esses resultados são importantes ao reforçar nossa hipótese que *Solanum sessiliflorum*, uma espécie silvestre, pode responder a perda de água de maneira mais eficiente do que *Solanum lycopersicum*, por exemplo.

É possível que esta putativa tolerância de *Solanum sessiliflorum* seja associada com manutenção dos parâmetros de crescimento sob condições de privação hídrica e reidratação. Parâmetros de crescimento como altura e expansão foliar são fortemente afetados pela presença, ou não, de água (FARQUHARSON, 2017). De fato, tais parâmetros foram impactados neste trabalho apresentando durante privação hídrica uma cessação no crescimento (Figura 4 e 5). Contudo, ao contrário do que foi visto em *Solanum lycopersicum* sob limitação hídrica em que a expansão foliar final é comprometida (KOCK et al., 2019), *Solanum sessiliflorum* mostrou, também, na expansão foliar (largura e comprimento) um retardo de crescimento durante

privação hídrica, mas assim que a irrigação é restaurada a expansão foliar retorna a ponto de igualar o crescimento da folha a valores semelhantes aquela em plantas irrigadas diariamente (Figura 5). Esse fato sugere que o impacto do alongamento celular ocorreu devido mais possivelmente à perda de turgescência celular ao invés de danos nos processos de divisão celular relacionados com crescimento (NELISSEM et al., 2013; BHASKARA et al., 2017).

Ainda neste contexto, limitação do crescimento da parte aérea é uma estratégia conservada em plantas quando submetidas a condições de limitação hídrica (FARQUHARSON, 2017). Tal efeito é visto neste estudo (Figura 4), ao qual as plantas de *S. Sessiliflorum* do tratamento estressado, teve seus valores de crescimento reduzido a medida que a umidade do substrato dos vasos diminuía. Não obstante, essa limitação do crescimento da parte aérea é integrada com um crescimento do sistema radicular na tentativa de explorar uma maior área do solo para absorção de água (KAPOOR et a., 2020). Isso é, a redução do crescimento da parte aérea e murcha foliar é importante para mudar a arquitetura da copa e, conseqüentemente, impedir a perda excessiva de água ao mesmo tempo que maior crescimento da raiz possibilita a exploração do ambiente por água (FARQUHARSON, 2017; KAPOOR et a., 2020). Essa coordenação do crescimento da raiz em detrimento da parte aérea pode ser vista por diferença de partição de material entre os órgãos da planta sob privação hídrica (FREITAS e SILVA, 2018).

A biomassa em plantas é oriunda da assimilação do CO₂ a partir do processo fotossintético. Contudo, assim como vários processos na planta, como aqueles já mostrados acima, como crescimento, fotossíntese, tanto processo fotoquímico quanto ciclo de Calvin-Benson, são impactadas por limitação hídrica (BHARGAVA et al., 2013). Embora o efeito do estresse hídrico em plantas do gênero *Solanum* seja vasto na literatura, espécies deste gênero apresentam uma larga plasticidade na resposta com relação ao processo fotossintético, no trabalho de Egea et al. (2018), com *Solanum lycopersicum* apresentou após quatro dias sem irrigação redução dos valores de Fv/Fm indicando dano oxidativo no centro de reação do fotossistema II. Ao mesmo tempo, no mesmo trabalho, *Solanum pennellii* não apresentou alteração nos valores de Fv/Fm em condições estressantes quando comparado com condições controle de irrigação constante. *Solanum sessiliflorum*, planta modelo neste nosso trabalho, mostrou que decréscimos de Fv/Fm foram vistos somente após sete dias sem irrigação (Figura 8a).

Quando esses resultados de Fv/Fm são tomados em conjunto com aqueles apresentados de perda de água (Figura 2) parece que *Solanum sessiliflorum*, assim como *Solanum pennellii*,

apresenta uma resiliência maior ao estresse hídrico do que a tomate comercial (o que reforça nossa hipótese inicial que *Solanum sessiliflorum* por apresentar características de espécies silvestre possui uma tolerância maior a estresses de modo geral, ou ao menos a condições testadas aqui). Apesar de Egea et al. (2018) ter tido mérito em comparar *Solanaceae* silvestre versus cultivada/comercial, os autores não aprofundam as diferenças entre as espécies no processo fotossintético relacionado com o processo fotoquímico em si.

Os dados apresentados aqui mostram redução e aumento de qP e NPQ, respectivamente (Figura 8b e 8c). A dissipação na forma de calor, NPQ, em *Solanum sessiliflorum* a partir do terceiro dia de limitação hídrica indica uma resposta rápida da cadeia transportadora de elétrons cloroplastídica para evitar a fotoinibição (MURCHIE e LAWSON, 2013). Tal fato já é bem documentado na literatura, embora diferentes cultivares de tomate respondam de maneira diferente a estresse hídrico com relação a dissipação de energia (ZHOU et al., 2018).

No trabalho em questão, enquanto a cultivar *Sufen* n°. 14 apresenta lenta resposta de NPQ em resposta a privação hídrica, a cultivar *Jinlingmeiyu* mostra uma rápida liberação de energia como NPQ nos momentos iniciais de seca. Não somente por este fato, mas, de maneira geral, *Jinlingmeiyu* mostra uma maior resiliência ao déficit hídrico (ZHOU et al., 2018). A diferença de cultivares a resposta a estresse hídrico é de sobre modo interessante para espécie *Solanum sessiliflorum* visto que esta, como já dito, apresenta um conjunto de aproximadamente 30 etnoviedades. Portanto, o trabalho de Zhou abre uma nova perspectiva para se investigar a população, e variação gênica, de *Solanum sessiliflorum* em condições de estresse hídrico em trabalhos futuros.

As alterações na fotoquímica estão de acordo com os dados de trocas gasosas (Figura 9). A redução da An no sétimo dia de limitação hídrica deu-se em consonância com redução de g_s e C_i sugerindo uma limitação estomática refletindo em menores taxas de assimilação de CO_2 (HAWORTH et al., 2016; KAISER et al., 2016). Apesar de não quantificado neste trabalho, ABA é um modulador chave do processo de fechamento estomática mediante presença de limitação hídrica (CHAVES et al., 2013; PANTIN et al., 2013; TOMBESI et al., 2015). Por outro lado, durante o processo de reidratação, os valores de g_s e C_i aumentam em relação a plantas irrigadas diariamente enquanto nenhuma diferença estatística é vista em An. Esse achado sugere possivelmente danos bioquímicos no Ciclo de Calvin-Benson durante o período de limitação hídrica (KAPOOR et al., 2020). Esses resultados, por sua vez, indicam para uma limitação bioquímica da fotossíntese (DEANS et al., 2019).

Por fim, mas não menos importante, uma vez que fotossíntese é a base primária de produtividade do planeta, consequentemente, estudos de engenharia metabólica da fotossíntese são fundamentais para avanços da agricultura e produção de alimentos (COWIE et al., 2017). Por exemplo, plantas de *Solanum lycopersicum* aumentam a taxa fotossintética via abertura estomática em condições de estresse hídrico, modulado pela interação luz verde / gene HA1 e HA2 (BIAN et al., 2019).

Quando tomados em conjunto, os resultados apresentados aqui mostram de forma inédita a caracterização de plantas de *Solanum sessiliflorum* a condições de regimes hídricos distintos, limitação hídrica seguida de reidratação. Apesar de incipiente, este é o primeiro trabalho no qual mostra as bases morfo-fisiológicas a estresse por privação hídrica. Por isso, estudos adicionais para entender as bases bioquímicas e metabólicas dessa espécie ante estresse faz-se necessário para ter uma visão holística da reprogramação de *Solanum sessiliflorum* sob estresse.

8 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho utilizando plantas de *Solanum sessiliflorum* avaliadas, do ponto visto inédito, apresenta uma aparente resiliência ao déficit hídrico imposto no regime de sete dias de restrição de água e apresentam importantes mecanismos morfológicos e fisiológicos de plasticidade a esse tipo de estresse.

A tolerância do *Solanum sessiliflorum* foi evidenciada pelos mecanismos morfológicos de resistência ao estresse expostos, como intensa murcha e abscisão foliar. Do ponto de vista fisiológico, essas respostas foram evidenciadas através da diminuição da fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração interna de CO₂. Essas respostas são importantes para o estabelecimento de cultivos da espécie em ambientes com disponibilidade hídrica limitada, como nas regiões semiáridas.

Notamos que a restrição hídrica em plantas de *Solanum sessiliflorum*, começa a surtir efeito na máxima eficiência quântica do PSII a partir do sétimo dia, sendo necessário então mais tempo de restrição de água nessa cultura para observar maiores efeitos nesse parâmetro.

Plantas de *Solanum sessiliflorum* possuem um alto potencial de recuperação de suas atividades metabólicas normais, visto que, após início de reidratação as plantas levaram em média de um a dois dias para restaurarem suas atividades de crescimento e fisiologia a valores semelhantes a plantas irrigadas diariamente.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Os resultados apresentados nesta pesquisa deram apenas os seus primeiros passos, em relação as respostas das plantas de *Solanum sessiliflorum* a limitação hídrica, bem como abre um leque de possíveis investigações quanto ao potencial genético dessa cultura, sabendo que o cubiu apresenta mais de 30 etnoviedades conhecidas segundo Silva Filho. Ainda há muito a se compreender sobre a fisiologia dessa cultura, e trabalhos como o de Zhou et al. (2018) discutido anteriormente, onde cultivares diferentes de tomate responderam de maneira diferente a limitação hídrica, e de Egea et al. (2018), que comparou Solanaceae silvestre versus cultivada/comercial e encontrou que a cultivar silvestre respondem de maneira mais eficiente a estresse de uma maneira geral, abrem uma nova perspectiva para se investigar a variação gênica, de *Solanum sessiliflorum* em pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS

- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R., Paneerselvam, R.** (2007). Alterations in osmoregulations, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. *Colloids and Surfaces Biointerfaces*, v.59, n.2, p.150-157.
- Abreu, M. C. S., Freitas, A. R. P., Rebouças, S. M. D. P.** (2017). Conceptual model for corporate climate change strategy development: empirical evidence from the energy sector. *Journal of Cleaner Production*, v.165, p.382-392.
- Afzal, A., Gulzar, I., Shahbaz, M., Ashraf, M.** (2014). Water deficit-induced regulation of growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, inorganic nutrient accumulation and antioxidative defense mechanism in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, v.87, n.1, p.147-156.
- Agência Nacional de Águas (Brasil).** (2013). Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente. 2. ed. Brasília: ANA, 157p.
- Albacete, A. A., Martínez-Andujar, C., Pérez-Alfocea, F.** (2014). Hormonal and metabolic regulation of source-sink relations under salinity and drought: from plant survival to crop yield stability. *Biotechnology Advances*, v.32, n.1, p.12-30.
- Albacete, A. A., Martínez-Andújar, C., Pérez-Alfocea, F.** (2014a). Hormonal and metabolic regulation of source-sink relations under salinity and drought: from plant survival to crop yield stability. *Biotechnology Advances*, v.32, p.12-30.
- Alpino, T. A., Sena, A. R. M., Freitas, C. M.** (2016). Disasters related to droughts and public health – a review of the scientific literature. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.21, n.3, p.809-820.
- Altieri, M. A.** (2016). Os quelites: Usos, manejo e Efeitos ecológicos na agricultura camponesa. *Agriculturas*, v.13, n.2, p.30-33.
- Altieri, M. A., e Nicholls, C. I.** (2009). Mudanças climáticas e agricultura camponesa: impactos e respostas adaptativas. *Agriculturas*, v.6, n.1.
- Amabile, R. F., Vilela, M. S., Peixoto, J. R.** (2018). Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado. Brasília, DF. *Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas*, p.108.

- Andrade Júnior, M.C., Andrade, J. S., Costa, S. S., Leite, E. A. S.** (2017). Nutrients of cubiu fruits (*Solanum sessiliflorum* Dunal, Solanaceae) as a function of tissues and ripening stages. *Journal of Food and Nutrition Research*. v.5, n.9, p.674-683.
- Asgher, M., Per, T.S., Masood, A., Fatma, M., Freschi, L., Corpas, F. J., Khan, N. A.** (2017). Nitric oxide signaling and its crosstalk with other plant growth regulators in plant responses to abiotic stress. *Environmental Science and Pollution Research*, v.24, n.3, p.2273-2285.
- Ashraf, M., Harris, P. J. C.** (2013). Photosynthesis under stressful environments: no overview. *Photosynthetica*, v.51, n.2, p.163-190.
- Atkin, O. K., e Macherel, D.** (2009). The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance. *Annals of Botany*, v.103, n.4, p.581-597.
- Augusto, E.** (2004). Maná-cubiu: A fruta dos deuses. *Guia Rural & Negócios*. Disponível em: http://www.bioflorestal.com.br/mana_novo.htm. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.
- Baldermann, S., Blagojević, L., Frede, K., Klopsch, K., Neugart, S., Neumann, A., Ngwene, B., Norkewit, J., Schröter, D., Schröter, A., Schweigert, F. J., Wiesner, M., Schreiner, M.** (2016). Are Neglected Plants the Food for the Future, *Critical Reviews in Plant Sciences*, v.35, n.2, p.106-119.
- Barbieri, R. L., Gomes, J. C. C., Alercia, A., Padulosi, S.** (2014). Agricultural biodiversity in southern Brazil: integrating efforts for conservation and use of neglected and underutilized species. *Sustainability*, v.6, n.2, p.741-757.
- Barreto, A. F., e Barbosa, J. K. A.** (2001). Mecanismos de resistência à seca que possibilitam a produção em condições do semi-árido nordestino. 3º Simpósio brasileiro de captação de água de chuva no semi árido. UFPB. Petrolina, PE.
- Basu, A., sarkar-Roy., N., Majumder, P. P.** (2016). Genomic reconstruction of the history of extant populations of India reveals five distinct ancestral components and a complex structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. v.113, p.1594-1599.
- Bertolli, S. C., Rapchan, G. L., Souza, G. M.** (2012). Photosynthetic limitations caused by different rates of water-deficit induction in *Glycine max* and *Vigna unguiculata*. *Photosynthetica*, v.50, n.3, p.329-336.
- Bhargava, A., Chatterjee, M., Jain, Y., Chatterjee, B., Kataria, A., Bhargava, M., Kataria, R., D'Souza, R., Jain, R., Benedetti, A., Pai, M., Menzies, D.** (2013). Nutritional Status of Adult Patients with Pulmonary Tuberculosis in Rural Central India and Its Association with Mortality. *PLoS ONE*, v.8, n.10, e77979.

- Bhaskara, G. B., Wen, T. N.; Nguyen, T. T., Verslues, P. E.** (2017). Protein phosphatase 2Cs and Microtubule-Associated Stress Protein 1 control microtubule stability, plant growth, and drought response. *Plant Cell*, v.29, p.169–191.
- Bianchi, L., Germino, G. H., Silva, M. A.** (2016). Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. *Acta Iguazu*, v.5, n.4, p.15-32.
- Blum, A.** (2016). Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. *Plant, Cell and Environmental*, p.1-7.
- Boldrini, E.B., Paes, L.S. E Pinheiro, F.** (2016). Clima: Boas práticas de adaptação. (1.ed.). Antonina: Ademadan, Brasil, *Agência Nacional de Vigilância Sanitária*.
- Bolger, A., Scossa, F., Bolger, M. E., Lanz, C., Maumus, F., Tohge, T., Fernie, A. R.** (2014). The genome of the stress-tolerant wild tomato species *Solanum pennellii*. *Nature Genetics*, v.46, n.9, p.1034–1038.
- Bosco, M. R. O., Oliveira, A. B., Hernandez, F. F. F., Lacerda, C. F.** (2009). Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. *Revista Ceres*, v.56, p.296-302.
- Brack, P.** (2016). Plantas alimentícias não convencionais. *Agriculturas*, v.13, n.2, p.4-6.
- Bradshaw, A. D.** (1965). Evolutionary Significance of Phenotypic Plasticity in Plants. *Advances in Genetics*, p.115–155.
- Brasil, Agência Nacional de Águas (ANA).** Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos / Agência Nacional de Águas. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011.
- Cambraia, J.** (2005). Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: **Nogueira, R. J. M. C., Araújo, E. L., Willadino, L.G., Cavalcante, U. M. T.** (Ed.). Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. *Imprensa Universitária*, Recife, UFRPE, p.95-105.
- Campos, W. H., Miranda Neto, A., Peixoto, H. J. C., Godinho, L. B., Silva, E.** (2012). Contribuição da fauna silvestre em projetos de restauração ecológica no Brasil. *Revista Pesquisa florestal brasileira*, v.32, p.429-440.
- Cardoso, D., Särkinen, T., Alexander, S., M. Amorim, A. M., Bittrich, V., Celis, M., Daly, D. C., Fiaschi, P., Funk, V. A., Giacomini, L. L., Goldenberg, R., Heiden, G., Iganci, J., Kelloff, C. L., Knapp, S., de Lima, H. C., Machado, A. F. P., dos Santos, R. M., Mello-Silva, R., Michelangeli, F. A., Mitchell, J., Moonlight, P., de Moraes, P. L. R., Mori, S. A., Nunes, T. S., Pennington, T. D., Pirani, J. R., Prance, G. T., de Queiroz,**

- L. P., Rapini, A., Riina, R., Rincon, C. A. V., Roque, N., Shimizu, G Marcos Sobral, S., Stehmann, J. R., Stevens, W. D., Taylor, C. M., Trovó, M., van den Berg, C. van der Werff, H., Viana, P. L., E. Zartman, C. E., Forzza, R. C.** (2017). Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. *Yale Alumni Magazine*, New Haven, CT, v.114, n.40, p.10695–10700.
- Carvalho, A. M.** **Caracterização física, química e mineralógica dos solos do município de Humaitá-AM.** 1986. 166 f. Tese (Livre Docência) Universidade do estado de São Paulo, Botucatu, 1986.
- Carvalho, T. B., Furlanetto, L. V., Zen, S., Ribeiro, G. G.** (2010). Potencial da produtividade e rentabilidade da pecuária de corte no mato grosso. *Congresso*, n.48, Sober, Campo Grande, MS.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.-W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A., Stanca, A. M.** (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, v.105, n.1-2, p.1–14.
- Cechin, I., Cardoso, G. S., Fumis, T. F., Corniani, N.** (2015). Nitric oxide reduces oxidative damage induced by water stress in sunflower plants. *Bragantia*, v.74, n.2, p.200-206.
- Charrondière, R. U., Stadlmayr, B., Rittenschober, D., Nowak, V., Nilsson, E., Burlingame, B.** (2013). FAO/INFOODS food composition database for biodiversity. *Food Chemistry*, p.408-412.
- Chaves, A. D. C. G., Santos, R. M. S., Santos, J. O., Fernandes, A. A., Maracajá, P. B.** (2013). A importância dos levantamentos florístico e fitossociológico para a conservação e preservação das florestas. *Revista ACSA - OJS*, v.9, n.2, p.42- 48.
- Chaves, F. C. M., Silva, S. E. L., Berni, R. F., Pena, E. A., Costa, I. O. V. L., Rocha, M. Q.** (2005). Produção de mudas de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) em função do tipo de substrato. In: Seminário sobre pesquisas com o guaranazeiro na Amazônia, 1. Manaus, AM. *Embrapa Amazônia Ocidental*, p.124-126.
- Chaves, J. H., Reis, G. G., Reis, M. G. F., Neves, J. C. L., Pezzopane, J. E. M., Polli, H. Q.** (2004). Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. *Revista Árvore*, v.28, n.3, p.333-341.

- Clement, C. R.** (1999). 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. *Economic Botany*, v.53, n.2, p.188-202.
- Cowie, A. L., Orr, B. J., Castillo Sanchez, V. M., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., Louwagieg, G., Maronh, M., Metternichti, G. I., Minellic, S., Tengbergj, A. E., Walter, S., Welton, S.** (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*, v.79, p.25–35.
- Cruz, M. P., Peroni, N., Albuquerque, U. P.** (2013). Knowledge, use and management of native wild edible plants from a seasonal dry forest (NE, Brazil). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v.9, n.79, p.1-10.
- Cui, J.; Shao, G., Lu, J., Keabetswe, L., Hoogenboom, G.** (2020). Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Scientia Agricola*, v.77, n.2.
- Dai, A.** (2012). Erratum: Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, v.3, n.6, p.617–617.
- De Lima, A. F. L., Campos, M. C. C., de Brito Filho, E. G. Simões, E. L., da Cunha, J. M., da Silva, D. M. P., de Oliveira, F. P., dos Santos, L.A.C.** (2020). Diferentes substratos na formação de mudas de biribazeiro (*Rollinia mucosa* [Jacq.] Bail) em Humaitá. *Scientia Plena*, AM, v.16, n.7.
- De Oliveira Silva, F. M., Lichtenstein, G., Alseekh, S., Rosado-Souza, L., Conte, M., Suguiyama, V. F., Nunes-Nesi, A.** (2017). The genetic architecture of photosynthesis and plant growth-related traits in tomato. *Plant, Cell & Environment*, v.41, n.2, p.327–341.
- De Ollas, C., Dodd, I. C.** (2016). Physiological impacts of ABA–JA interactions under water-limitation. *Plant Molecular Biology*, v.91, n.6, p.641–650.
- Deans, R. M., Brodribb, T. J., Mcadam, S. A. M.** (2017). An Integrated Hydraulic-Hormonal Model of Conifer Stomata Predicts Water Stress Dynamics. *Plant Physiology*, v.174, n.2, p.478–486.
- Delatorre-Herrera, J., Delfino, I., Salinas, C., Silva, H., Cardemil, L.** (2005). Irrigation restriction effects on water use efficiency and osmotic adjustment in Aloe Vera plants (*Aloe barbadensis* Miller). *Agricultural Water Management*, v.97, p.1564-1570.
- Dellai, J., Trentin, G., Bisognin, D. A., Streck, N. A.** (2005). Filocrono em diferentes densidades de plantas de batata. *Ciência Rural*, v.35, n.6, p.1269-1274.

- Duarte, G. S. D., Pasa, M. G.** (2016). Agrobiodiversidade e a etnobotânica na comunidade São Benedito, Poconé, Mato Grosso, Brasil. *Interações*, v.17, n.2, p.247-256.
- Egea, I., Albaladejo, I., Meco, V., Morales, B., Sevilla, A., Bolarin, M. C., Flores, F. B.** (2018). The drought-tolerant *Solanum pennellii* regulates leaf water loss and induces genes involved in amino acid and ethylene/jasmonate metabolism under dehydration. *Scientific Reports*, v.8, n.1.
- Fang, X., Li, Y., Nie, J., Wang, C., Huang, K.; Zhang, Y., She, H., Liu, X., Ruan, R., Yuan, X., Yi, Z.** (2018). Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). *Field Crops Research*, v.219, p.160–168.
- Fang, Y., Xiong, L.** (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, v.72, n.4, p.673–689.
- FAO.** (1996). The state of food and agriculture. Rome.
- FAO.** (1996). World Food Summit Plan of Action, paragraph 32 (g). In: Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action; *World Food Summit*, 13-17, Rome, Italy. Rome, p.43.
- FAO.** (2013). Fao statistical yearbook 2013 world food and agriculture. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome p.307.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., Siddique, K.H.M.** (2012). Drought stress in plants: an overview. In: **Aroca, R.** (Ed.), Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features. *Springer-Verlag*, Germany, p.1-36.
- Farquharson, K. L.** (2017). Fine-Tuning Plant Growth in the Face of Drought. *The Plant Cell*, v.29, n.4.
- Fernandes, D. M. M., Karnopp, E.** (2014). A agricultura familiar e a cadeia produtiva de alimentos orgânicos: conquistas. *Revista de desenvolvimento econômico*, Ano XVI, n.29.
- Ferrante, A., Savin, R.; Slafer, G. A.** (2012). Differences in yield physiology between modern, well adapted durum wheat cultivars grown under contrasting conditions. *Field Crops Research*, v.136, p.52–64.
- Fioravanti, C.** (2016). A maior diversidade de plantas do mundo. *Pesquisa FAPESP*, n.241, p.42-47.

- Fleisher, D. H., Timlin, D. J., Reddy, V. R.** (2008). Elevated carbon dioxide and water stress effects on potato canopy gas exchange, water use, and productivity. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.48, p.1109-1122.
- Flexas, J., Bota, J., Escalona, J.M., Sampol, B., Medrano, H.** (2002). Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions. *Functional Plant Biology*, Melbourn, v. 29, p. 461-471.
- Flexas, J., Escalona, J. M., Medrano, H.** (1999). Water stress inducee diferente photosynthesis and electrón transport rate regulation in grapevine. *Plant, Cell and Environment*, v.121, p.39-48.
- Flood, P. J., Harbinson, J., Aarts, M. G. M.** (2011). Natural genetic variation in plant photosynthesis. *Trends in Plant Science*, v.16, p.327-335.
- Freitas, R. S., Silva, E. C.** (2018). Physiological responses of *Aspydosperma pyrifolium* (*Apocynaceae*) seedlings to withholding water cycles. *Scientia Plena*, v.14, n.5.
- Fuller, D. Q.** (2007). Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: recent archaeobotanical insights from the Old World. *Annals of Botany*, v.100, p.903-924.
- Galluzzi, G., Estrada, R., Apaza, V., Gamarra, M., Perez, A., Gamarra, G., Altamirano, A., Cáceres, G., Gonza, V., Sevilha, R., Noriega, L., Jager, M.** (2015). Melhoramento participativo nas terras altas do Peru: oportunidades e desafios para promover a conservação e o uso sustentável de culturas subutilizadas. *Agricultura Renovável e Sistemas Alimentares*, v.30, n.5, p.408-417.
- Gaspar, M.** (2011). Aquaporins: from water channels to multifunctional transporters in plants. *Brazilian Journal of Botany*, v.34, n.4, p.481-491.
- Genty, B., Briantais, J.-M., Baker, N. R.** (1989). The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta*, v.990, n.1, p.87–92.
- Gonçalves, J. F. C., Santos Jr., U. M.** (2005). Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. *Brazilian Journal Plant Physiology*, v.17, p.307-313.
- Hao, S., Cao, H., Wang, H., Pan, X.** (2019). The physiological responses of tomato to water stress and re-water in different growth periods. *Scientia Horticulturae*, v.249, p.143–154.
- Harborne, J. B.** (1997). Biochemical plant ecology. In: **Dey, P. M., Harborne, J. B.** (eds.) *Plant Biochemistry*. Academic Press, San Diego, CA. p.501-516.

- Hare, P. D., Cress, W. A.** (1997). Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, v.21, p.79-102.
- Harsh, A., Sharma, Y. K., Joshi, U., Rampuria, S., Singh, G., Kumar, S., Sharma, R.** (2016). Effect of short-term heat stress on total sugars, proline and some antioxidant enzymes in moth bean (*Vigna aconitifolia*). *Annals of Agricultural Sciences*, v.61, n.1, p.57-64.
- Hatzig, S., Zaharia, L. I., Abrams, S., Hohmann, M., Legoahec, L., Bouchereau, A., Snowden, R. J.** (2014). Early osmotic adjustment responses in drought-resistant and drought-sensitive oilseed rape. *Journal of integrative plant biology*, v.56, n.8, p.797-809.
- Haworth, M., Killi, D., Materassi, A., Raschi, A., Centritto, M.** (2016). Impaired Stomatal Control Is Associated with Reduced Photosynthetic Physiology in Crop Species Grown at Elevated [CO₂]. *Frontiers in Plant Science*, p.7.
- Haworth, M., Scutt, C. P., Douthe, C., Marino, G., Gomes, M. T. G., Loreto, F., Flexas, J., Centritto, M.** (2018). Allocation of the epidermis to stomata relates to stomatal physiological control: Stomatal factors involved in the evolutionary diversification of the angiosperms and development of amphistomaty. *Environmental and Experimental Botany*, v.151, p.55-63.
- Henderson, I. R., Salt, D. E.** (2017). Natural genetic variation and hybridization in plants. *Journal of Experimental Botany*, v.68, p.5415-5417.
- Hoekstra, F. A., Golovina, E. A., Buitink, J.** (2001). Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends in Plant Science*, p.431-438.
- Hsiao, T. C.** (1973). Plant Responses to Water Stress. *Annual Review of Plant Physiology*, v.24, n.1, p.519–570.
- Hu, H., Xiong, L.** (2014). Genetic engineering and breeding of drought-resistant crops. *Annual review of plant biology*, v.65, p.715–41.
- Huisheng Bian, H., Froyd, K., Murphy, D. M., Dibb, J., Darmenov, A., Chin, M., Colarco, P. R., da Silva, A., Kucsera, T. L., Schill, G., Yu, H., Bui, P., Dollner, M., Weinzierl, B., Smirnov, A.** (2019). Observationally constrained analysis of sea salt aerosol in the marine atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v.19, p.10773–10785.
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanver, M., Farooq, M., Nawaz, A.** (2018). Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, v.201, p.152-166.

- IBGE. Censos agropecuários 1970, 1980, 1985, 1995 e 2006.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: jan. 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** (2014). Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. *3º Prognóstico da Produção Agrícola 2015-PPA*. Vitória-ES.
- IBGE-LSPA.** (2016). Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, Diretoria de Pesquisas. Coordenação de Agropecuária, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Vitória-ES.
- Isaacson, T., Kosma, D. K., Matas, A. J., Buda, G. J., He, Y., Yu, B., Pravitasari, A., Batteas, J. D., Stark, R. E., Jenks, M. A., Rose, J. K. C.** (2009). Cutin deficiency in the tomato fruit cuticle consistently affects resistance to microbial infection and biomechanical properties, but not transpirational water loss. *The Plant Journal*, v.60, p.363–377.
- Isoda, A., Wang, P.** (2002). Leaf Temperature and Transpiration of Field Grown Cotton and Soybean under Arid and Humid Conditions. *Plant Production Science*, v.5, p.224–228.
- Jacinto, S. G., Moraes, J. G. L. M., Da Silva, F. D. B., Silva, B. N., Sousa, G. G., Oliveira, L. L. B., Mesquita, R. O.** (2019). Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.34, n.3, p.413-422.
- Jangid, K. K, Dwivedi, P.** (2017). Physiological and biochemical changes by nitric oxide and brassinosteroid in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.39, n.3, p.73.
- Jeandroz, S., Lamotte, O.** (2017). Editorial: Plant Responses to Biotic and Abiotic Stresses: Lessons from Cell Signaling. *Frontiers in Plant Science*, v.8, p.1772.
- Kaiser, E., Zhou, D., Heuvelink, E., Harbinson, J., Morales, A., Marcelis, L. F. M.** (2017). Elevated CO₂ increases photosynthesis in fluctuating irradiance regardless of photosynthetic induction state. *Journal of Experimental Botany*, v.68, n.20, p.5629–5640.
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Marco Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., Sharma, A.** (2020). The Impact of Drought in Plant Metabolism: How to Exploit Tolerance Mechanisms to Increase Crop Production. *Applied Sciences*, v.10, p.5692.
- Kavi Kishor, P. B., Sangam, S., Amrutha, R. N., Sri Laxmi, P., Naidu, K. R.; Rao, K. R. S. S., Reddy, K. J., Theriappan, P., Sreenivasulu, N.** (2005). Regulation of proline

biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*, v.88, n.3, p.424-438.

Kiani, P. K. S., Maury, P., Sarrafi, A., Grieu, P. (2008). QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and waterstressed conditions. *Plant Science*, v.175, n.4, p.565-573.

Kigel, J., Galili, G. (1995). Seed development and germination. 2. ed. New York. *Plenum Press*, p.853.

Kinupp, V. F. Plantas alimentícias não convencionais da região metropolitana de Porto Alegre, RS. 2007. Tese (Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

Kinupp, V. F., Lorenzi, H. (2014). Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil. São Paulo – SP. *Instituto Plantarum de Estudo da Flora*.

Kobiyama, M., Checchia, T., Silva, R.V., Schröder, P. H., Grando, Â., Reginatto, G. M. P. (2004). Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: GEDN/UFSC, p.834-846.

Koch, G., Rolland, G., Dautzat, M., Bédiée, A., Baldazzi, V., Bertin, N., Granier, C. (2019). Leaf Production and Expansion: A Generalized Response to Drought Stresses from Cells to Whole Leaf Biomass - A Case Study in the Tomato Compound Leaf. *Plants*, v.8, n.10, p.409.

Kramer, P. J. Drought, stress, and the origin of adaptations. In: **Turner, N. C., Kramer, J. P.** (1980). Adaptation of plants to water and high temperature stress. Wiley, New York, p.7-20.

Kramer, P. J., Boyer, J. S. (1995). Water relations of plants and soils. San Diego. *Academic Press*.

Kuromori, T., Seo, M., Shinozaki, K. (2018). ABA Transport and Plant Water Stress Responses. *Trends in Plant Science*, v.23, n.6, p.513–522.

Lambers, H., Chapin III, F. S., Pons, T. L. (2008). Plant physiologi ecology. 2 ed. Berlin: *Spriner*, 605p.

Larcher, W. (2000). Ecologia vegetal. São Carlos. RiMa Artes e Textos, p.531.

Larcher, W. (2006). Ecofisiologia vegetal. São Carlos, SP. RiMa, p.531.

Leff, E. (2011). Saber Ambiental. Sustentabilidade, Racionalidade, Complexidade, Poder. Petrópolis, RJ. *Vozes/PNUMA*, p.343.

- Levitt, J.** (1980). Response of plants to environmental stress II: water radiations, salt and other stress. New York: *Academic Press*, p.606.
- Levy, D., Coleman, W. K., Veilleux, R. E.** (2013). Adaptation of potato to water shortage: Irrigation management and enhancement of tolerance to drought and salinity. *American Journal Potato Research*, v.90, p.186-206.
- Liberato, P. S., Lima, D. V. T., Silva, G. M. B.** (2019). PANCs - Plantas Alimentícias não Convencionais e seus Benefícios Nutricionais. v.2, p.102-111.
- Lim, C., Baek, W., Jung, J., Kim, J.-H., Lee, S.** (2015). Function of ABA in Stomatal Defense against Biotic and Drought Stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, v.16, n.12, p.15251–15270.
- Lisar, S. Y., Rahman, I. M., Hossain, M. M., Motafakkerazad, R.** (2012). Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses. INTECH Open Access Publisher.
- Mahpara, S., Andleeb, I., Bashir, M. A., Iqbal, J., Noorka, I. R.** (2018). Impact of water stress on various plant traits of different tomato varieties at early growth stage. *Pure and Applied Biology*, v.7, n.3, p.1038-1051.
- Marengo, J. A., Nobre, C. A., Chou, S. C., Tomasella, J., Sampaio, G., Alves, L. M.; Obregón, G. O., Soares, W. R., Betts, R., Kay, G.** (2011a). Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das Mudanças Climáticas e do Desmatamento na Amazônia. São Jose dos Campos, SP: *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, p.55.
- Marijuan, M. P., Bosch, S. M.** (2013). Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. *Trends in Plant Science*, v.18, n.12, p.660-666.
- Mascato, D. R. L. H., Monteiro, J. B., Passarinho, M. M., Galeno, D. M. L., Cruz, R.J., Ortiz, C., Morales, L., Lima, E.S., Carvalho, R. P.** (2015). Evaluation of antioxidant capacity of *Solanum sessiliflorum* (Cubiu) extract: an in vitro assay. *Journal of Nutrition and Metabolism*, v.2015, p.1-8.
- Mendonça, J. L., Lopes, J. F.** (2019). Coleção de germoplasma de espécies silvestres de *Solanum* da Embrapa. Brasília, DF: *Embrapa Hortaliças*, p.58.
- Mittler, R.** (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant in Science*, v.9, p.405-410.
- Morales, R. G., Resende, L. V., Maluf, W. R., Peres, L. E., Bordini, I. C.** (2015). Selection of tomato plant families using characters related to water deficit resistance. *Horticultura Brasileira*, V.33, n.1, p.27–33.

- Morando, R., Silva, A. O., Carvalho, L. C., Pinheiro, M. P. M. A.** (2014). Deficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. *Journal of Agronomic Sciences*, v.3, p.114-129.
- Murchie, E. H., Lawson, T.** (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, v.64, n.13, p.3983–3998.
- Mwadzingeni, L., Shimelis, H., Dube, E., Laing, M. D., & Tsilo, T. J.** (2016). Breeding wheat for drought tolerance: Progress and technologies. *Journal of Integrative Agriculture*, v.15, n.5, p.935–943.
- Nelissen, H., Rymen, B., Coppens, F., Dhondt, S., Fiorani, F., Beemster, G. T. S.** (2013). Kinematic Analysis of Cell Division in Leaves of Mono-And Dicotyledonous Species: A Basis for Understanding Growth and Developing Refined Molecular Sampling Strategies. In *Plant Organogenesis. Methods in Molecular Biology*, (Methods and Protocols); De Smet, I., Ed.; Humana Press: Totowa, NJ, USA, v.959, p.247–264.
- Nepomuceno, A. L., Oosterhuis, D. M., Stewart, J. M.** (1998). Physiological responses of cotton leaves and roots to water deficit induced by polyethylene glycol. *Environmental and Experimental Botany*, v.40, n.1, p.29-41.
- Neves, L. T. B. C., Campos, D. C. S., Mendes, J. K. S., Urnhani, C. O., Araújo, K. G. M.** (2015). Qualidade de frutos processados artesanalmente de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) E bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.37, n.3.
- Nguyen, H. T., Babu, R. C., Blum, A.** (1997). Breeding for Drought Resistance in Rice: Physiology and Molecular Genetics Considerations. *Crop Science*, v.37, p.1426-1434.
- Nicotra, A. B., Atkin, O. K., Bonser, S. P., Davidson, A. M., Finnegan, E. J., Mathesius, U., Poot, P., Purugganan, M. D., Richards, C. L., Valladares, F., Kleunen, M.** (2010). Plant Phenotypic Plasticity in a Changing Climate. *Trends in Plant Science*, v.15, p.684-92.
- Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., Pardo, J. M.** (1995). Ion Homeostasis in NaCl Stress Environments. *Plant Physiology*, v.109, p.735-742.
- Nogueira, R. J. M. C., Moraes, J. A. P. V., Burity, H. A., Bezerra Neto, E.** (2001). Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas à déficit de água. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 13, p. 75-87, 2001.

- Oliveira, A. B., Alencar, N. L. M., Gomés-Filho, E.** (2013). Comparison between the water and salt stress effects on plant growth and development. In: AKINCI, S. (Ed.) Responses of organisms to water stress. *INTECH*, p.67-94.
- Oliveira, M. A. J. D., Bovi, M. L. A., Machado, E. C., Gomes, M. M. D. A., Habermann, G., Rodrigues, J. D.** (2002). Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. *Scientia Agricola*, p.59-63.
- Oliveira, M. L. B., França, T. A. R., Cavalcante, F. S., Lima, R. A.** (2020). Uso, classificação e diversidade de *Solanum* L. (Solanaceae). *Biodiversidade*, v.19, n.3.
- ONU.** (2019). United nations, department of economic and social affairs. The United Nations, Population Division, Population Estimates and Projections Section.
- Ortolani, A. A., Camargo, M. B. P.** (1987). Influência dos fatores climáticos na produção. Ecofisiologia da Produção Agrícola. Piracicaba. *Potafos*, p.249.
- Paiva, A.S., Fernandes, E.J., Rodrigues, T. J. D., Turco, J. E. P.** (2005). Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.161-169.
- Pammenter, N. W., Berjak, P.** (2014). Physiology of desiccation-sensitive (recalcitrant) seeds and the implications for cryopreservation. *International journal of plant sciences*, v.175, n.1, p.21-28.
- Pantin, F., Monnet, F., Jannaud, D., Costa, J. M., Renaud, J., Muller, B., Simonneau, T., Genty, B.** (2012). The dual effect of abscisic acid on stomata. *New Phytologist*, v.197, n.1, p.65–72.
- Pazzagli, P. T., Weiner, J., Liu, F.** (2016). Effects of CO₂ elevation and irrigation regimes on leaf gas exchange, plant water relations, and water use efficiency of two tomato cultivars. *Agricultural Water Management*, v.169, p.6-33.
- Pedreira Junior, A. L., Querino, C. A. S., Querino, J. K. A. S., Santos, L. O. F., Moura, A. R. M., Machado, N. G., Biudes, M. S.** (2018). Variabilidade horária e intensidade sazonal da precipitação no município de Humaitá-AM. *Revista Brasileira de Climatologia*, ISSN: 2237-8642 (Eletrônica).
- Pereira, M. C., Steffens, R. S., Jablonski, A., Hertz, P. F., Rios, A. O., Vizzotto, M., Flôres, S. H.** (2012). Characterization and antioxidant potential of Brazilian fruits from the Myrtaceae Family. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.60, n.1, p.3061-3067.
- Philippi, S. T.** (2015). Dietética: Princípios para o planejamento de uma alimentação saudável. Barueri - SP: Manole.

- Pimentel, C.** (2005). Respostas fisiológicas à falta d'água: limitação difusiva ou metabólica? In: **Nogueira, R. J. M. C., Araújo, E. L., Willadino, L.G., Cavalcante, U. M. T.** (Ed.). Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, *Imprensa Universitária*, p.13-21.
- Pires, A. M. B. P., Silva, P. S., Nardelli, P. M., GOMES, J. C., Ramos, A. M.** (2006). Caracterização e Processamento de Cubiu (*Solanum sessiliflorum*). *Revista Ceres*, v.53, n.307, p.309-316.
- Polesi, G. R., Rolim, R., Zanetti, C., Sant'anna, V., Biondo, E.** (2017). Agrobiodiversidade e segurança alimentar no vale do taquari, rs: plantas alimentícias não convencionais e frutas nativas. *Revista Científica Rural*, v.19, n.2.
- Price, A. H., Steele, K. A., Gorham, J., Bridges, J. M., Moore, B. J., Evans, J. L., Richardson, P., Jones, R. G. W.** (2002). Upland rice grown in soil-filled chambers and exposed to contrasting water-deficit regimes. *Field Crops Research*, v.76, n.1, p.11–24.
- Raghavendra, A. S., Gonugunta, V. K., Christmann, A., Grill, E.** (2010). ABA perception and signalling. *Trends in Plant Science*, v.15, n.7, p.395–401.
- Repellin, A., Daniel, L., Zuily-Fodil, Y.** (1994). Merits of physiological test for characterizing the performance of different coconut varieties subjected to drought. *Oléagineux*, v.49, p.155-169.
- Ribeiro, T. P. S., Durigan, M. F. B.** (2018). Food products based on cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) as an opportunity to agroindustry. *Revista Ambiente: Gestão e Desenvolvimento*, v.11, n.01.
- Rocha, C., Burlandy, L., Magalhães, R.** (2013). Segurança Alimentar e Nutricional: perspectivas, aprendizados e desafios para as políticas públicas. Ed. *FIOCRUZ*.
- Rodrigues, E., Mariutti, L., Mercadante, A.** (2013). Carotenoids and Phenolic. Compounds from *Solanum sessiliflorum*, an Unexploited Amazonian Fruit, and Their Scavenging Capacities against Reactive Oxygen and Nitrogen Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.61, n.12, p.3022-3029.
- Rosa, S. D. V. F., Pinho, E. R. V., Vieira, E. S. N., VEIGA, R. D., Veiga, A. D.** (2005). Enzimas removedoras de radicais livres e proteínas LEA associadas à tolerância de sementes de milho à alta temperatura de secagem. *Revista Brasileira de Sementes*, v.27, n.2, p.91-101.

- Sá, R. J. S., Félix, I. B., Souza, G. B., Silva, A. P. S., Souza, A. G. S., Ribeiro, J. M. F.** (2019). A importância da biodiversidade amazônica. *Multidisciplinary Reviews*, ed. 2019011.
- Saath, K. C. O., Fachinello, A. L.** (2018). Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v.56 n.2.
- Sack, L., John, G. P., Buckley T. N.** (2018). ABA accumulation in dehydrating leaves is associated with decline in cell volume, not turgor pressure. *Plant Physiology*, v.176, p.489–495.
- Salehi-Lisar, S. Y., Bakhshayeshan-Agdam, H.** (2016). Drought Stress in Plants: Causes, Consequences, and Tolerance. In: **Hossain, M. A.** et al. (Eds.). *Drought Stress Tolerance in Plants: Physiology and Biochemistry*. New York. *Springer International Publishing*, v.1, cap.1, p.1-16.
- Salter, P. J.** (1954). The effects of water regimes on the growth of plants under glass. I. Experiments with tomatoes (*lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Horticultural Science*, v. 29, p. 258-268.
- Santana, M. O., Sediya, G. C., Ribeiro, A., Silva, D. D. da.** (2007). Caracterização da estação chuvosa para o estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.15, n.1, p.114-120.
- Saradadevi, R., Palta, J. A., Siddique, K H.** (2017). ABA-mediated stomatal response in regulating water use during the development of terminal drought in wheat. *Frontiers in Plant Science*, v.8, p.1251.
- Scandalios, J. G.** (1993). Oxygen stress and superoxide dismutases. *Plant Physiology*, v.101, p.7-12.
- Schiml, F. C., da Silva, J. F., Gonçalves, J. F. de C., Mazzafera, P.** (2013). Guarana: Revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. *Journal of Ethnopharmacology*, v.150, n.1, p.14–31.
- Schuelter, A. R., Grunvald, A. K., Júnior, A. T. A., da Luz, C. L., Gonçalves, L. M., Stefanello, S., Skapim, C. A.** (2009). In vitro regeneration of cocona (*Solanum sessiliflorum*, Solanaceae) cultivars for commercial production. *Genetics and Molecular Research*, v.8, n.3, p.963-975.
- Schultes, R. E.** (1984). Amazonian cultigens and their northward migrations in pre-Colombian times. In: Pre-historic plant migration. *Harvard University Press*. Cambridge, Massachusetts, p.19-38.

- Schultes, R. E., R. Romero-Castañeda.** (1962). Edible fruits of *Solanum* in Colombia. *Harvard University Botanical Museum Leaflets*, v.19, p.235–286.
- Senevirathna, A. M. W. K., Stirling, C. M., Rodrigo, V. H. L.** (2003). Growth, photosynthetic performance and shade adaptation of rubber (*Hevea brasiliensis*) grown in natural shade. *Tree Physiology*, v.23, n.10, p.705–712.
- Sereno, A. B., Gibbert, L., Bertin, R. L., Krüger, C. C. H.** (2017). Cultivo do maná-cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) no litoral do paraná e sua contextualização com a segurança alimentar e nutricional. *Divers@ Revista Eletrônica Interdisciplinar*, v.10, n.2, p.123-132.
- Serrão, E., Santos, C., Wanzeler, R., Gonçalves, L., Lima, A.** (2015). Avaliação da seca de 2005 e 2010 na amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio solimões. *Revista Geográfica Acadêmica*, v.9, n.2.
- Serrasolses, G., Calvet-Mir, L., Carrió, E., D’ambrosio, U., Garnatje, T., Parada, M., Vallès, J., Reyes-García, V.** (2016). A matter of taste: local explanations for the consumption of wild food plants in the Catalan Pyrenees and the Balearic Islands. *Economic Botany*, v.70, n.2, p.176-189.
- Sibomana, I. C., Aguyoh, J. N., Opiyo A. M.** (2013). Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) plants. *Global Journal of Bio-science and Biotechnology*, v.2, n.4, p.461-466.
- Silva Filho, D. F., Soares, J. E. C., Vasques, M. S., Martins, A. L. U., Noda, H., Machado, F. M., Noda, S. N.** (2012a) Potencial das etnovariedades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal, Solanaceae) da região do alto rio negro, avaliado por analyses morfológica e agrônômica. In: Souza, L. A. G., Castellón, E. G. (Ed.). Desvendando as fronteiras do Conhecimento na Região Amazônica do Alto Rio Negro. Manaus, AM. *INPA*, p.147-169.
- Silva Filho, D. F., Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., Oliveira, M. C., Martins, L. H. P.** (2005). Caracterização e Avaliação do Potencial Agrônômico e Nutricional de Etnovariedades de Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) da Amazônia. *Acta Amazonica*, v.35, n.4, p.399-406.
- Silva Filho, D.F.** (1998). Manual técnico cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal): cultivo y utilización. Tratado de Cooperacion Amazônica – Secretaria Pro-tempore, Caracas, Venezuela.114p.

- Silva Filho, D.F. (2002). **Discriminação de etnovariedades de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal Solanaceae) da Amazônia, com base em suas características morfológicas e químicas.** INPA/UFAM. Manaus, AM. Tese de Doutorado. p.117.
- Silva, A. R. A., Bezerra, F. M. L., Lacerda, C. F., Pereira Filho, J. V., Freitas, C. A. S. (2013). Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, p.86-93.
- Silva, J. M., Ferreira, R. S., Melo, A. S., Suassuna, J. F., Dutra, A. F., Gomes, J.P. (2013). Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.1, p.40-46.
- Silveira, N. M., Frungillo, L., Marcos, F. C., Pelegrino, M. T., Miranda, M. T., Seabra, A. B., Salgado, I., Machado, E. C., Ribeiro, R. V. (2016). Exogenous nitric oxide improves sugarcane growth and photosynthesis under water deficit. *Planta*, v.244, p.181-190.
- Silvente, S., Sobolev, A. P., Lara, M. (2012). Metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive soybean genotypes in response to water stress. *Plos one*, v.7, p.1-11.
- Smith, A. M., Stitt, M. (2007). Coordination of carbon supply and plant growth. *Plant, Cell & Environment*, v.30, n.9, p.1126–1149.
- Soltys-Kalina, D., Plich, J., Strzelczyk-Zyta, D., Śliwka, J., Marczewski, W. (2016). The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of ‘Katahdin’-derived potato cultivars. *Breeding Science*, v.66, p.328–331.
- Sousa, A. L. B., Yuyama, K. (2015). Desempenho agrônomico de cultivares de milho com adubação nitrogenada em cobertura no cerrado de Humaitá, AM. *Revista de Educação, Ciência e Tecnologia*, v.9, n.2.
- Sprey, L.M., Ferreira, S.A. do N., Sprey, M.M. (2019). Qualidade fisiológica de sementes peletizadas de Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.41, n.1.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2004). **Fisiologia vegetal.** Porto Alegre: *Artmed*, p.449-484.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2009). **Fisiologia vegetal.** 4.ed. Porto Alegre: *Artmed*, p.819.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2013). **Fisiologia vegetal.** 5.ed. Porto Alegre: *Artemed*, p.954.
- Tardieu, F., Simonneau, T., Muller, B. (2018). The Physiological Basis of Drought Tolerance in Crop Plants: A Scenario-Dependent Probabilistic Approach. *Annual Review of Plant Biology*, v.69, p.733-759.

- Taylor, H. M., Terrell, E. E.** (1982). Rooting pattern and plant productivity. In: **Rehcgil, M.** (ed.). *CRC Handbook of Agriculture Productivity*, v.1, *CRC Press Boca Raton*, p.185-200.
- Tester, M., Langridge, P.** (2010). Breeding Technologies to Increase Crop Production in a Changing World. *Science*, v.327, n.5967, p.818-822.
- Tezara, W., Driscoll, S., Lawlor, D.W.** (2008). Partitioning of photosynthetic electron flow between CO₂ assimilation and O₂ reduction in sunflower plants under water deficit. *Photosynthetica*, v.46, n.1, p.127-134.
- Tombesi, S., Nardini, A., Frioni, T., Soccolini, M., Zadra, C., Farinelli, D., Poni, S., Palliotti, A.** (2015). Stomatal closure is induced by hydraulic signals and maintained by ABA in drought-stressed grapevine. *Scientific Reports*, v.5, n.1.
- Torrecillas, A., Alarcón, J. J., Domingo, R., Aviões, J., Sánchez- Blanco, M. J.** (1996). Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. *Plant Science*, v.118, n.2, p.135-143.
- Tuler, A. C., Peixoto, A. L., Silva, N. C. B.** (2019). Plantas alimentícias não convencionais (PANC) na comunidade rural de São José da Figueira. *Rodriguésia*. Minas Gerais, Brasil.
- Turner, N. C.** (1986). Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Journal Plant Physiology*, v.43, p.175- 190.
- Van Rensburg, L. (1994). **Adaptive significance of photosynthetic and metabolic regulation in *Nicotiana tabacum* L. plants during drought stress.** Tese (Doutorado), Potchefstroom University for Christian Higher Education, Potchefstroom, South Africa.
- Vandermas, D., Galeano, E. V., Oliveira, L. R.** (2016). Estimativa de perdas na produção agrícola capixaba em 2016. *I SICT do Incaper*.
- Varone, L., Ribas-Carbo, M., Cardona, C., Gallé, A., Medrano, H., Gratani, L., Flexas, J.** (2012). Stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis in seedlings and saplings of Mediterranean species pre-conditioned and aged in nurseries: diferente response to water stress. *Environmental and Experimental Botany*, v.75, p.235-247.
- Veasey, E. A., Piotto, F. A., Nascimento, W. F, Rodrigues, J. F.** (2011). Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. *Ciência Rural*, v.41, p.1218-1228.
- Vellini, A. L.T. T., Paula, N. F., Alves, P. L. C.A., Pavani, L.C., Bonine, C. A. V., Scarpinati, E. A., Paula, R. C.** (2008). Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. *Revista Árvore*, v.32, n.4, p.651-663.

- Verbruggen, N., Hermans, C.** (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, v.35, p.753–759.
- Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., SkZ, A.** (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, v.184, p.13–24.
- Wang, L. F., Chen, J., Shangguan, Z. P.** (2016a). Photosynthetic characteristics and nitrogen distribution of large-spike wheat in Northwest. *Journal of Integrative Agriculture*, v.15, p.545-552.
- Wei-Tao, L.V., Lin, B., Hua, X.J.** (2011). Proline Accumulation is inhibitory to Arabidopsis seedlings during heat stress. *Plant Physiology*, v.154, p.1921-1933.
- Whalen, M. D., Costich, D. E., Heiser, C. B.** (1981). Taxonomy of section lasiocarpa. *Gentes Herbarrum*, v.12, n.2, p.41-129.
- Wu, B., Li, J., Chou, Y.-H., Luginbuhl, D., Luo, L.** (2017). Fibroblast growth factor signaling instructs ensheathing glia wrapping of Drosophila olfactory glomeruli. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.114, n.29, p.7505–7512.
- Yuyama, L. K. O., Macedo, S. H. M., Aguiar, J. P. L., Silva Filho, D. F., Yuyama, K., Fávaro, D. I. T., Vasconcelos, M. B. A.** (2007). Quantificação de macro e micro nutrientes em algumas etnovarietades de cubiu. (*Solanum sessiliflorum* Dunal). *Acta Amazonica*, v.37, n.3, p.425-430.
- Zhang, J. F, Liu, J. J, Zhao, T. T., Xu, X. Y.** (2017). Efeitos do estresse hídrico na fluorescência da clorofila em tomate. *Molecular Plant Breeding*, v.8, n.7, p.65-69.
- Zhang, X., Laubie, B., Houzelot, V., Plasari, E., Echevarria, G., Simonnot, M. O.** (2016). Increasing purity of ammonium nickel sulfate hexahydrate and production sustainability in a nickel phytomining process. *Chemical Engineering Research and Design*, v.106, p.26–32.
- Zhou, W., Dinh, H. Q., Ramjan, Z., Weisenberger, D. J., Nicolet, C. M., Shen, H., Laird, P. W., Berman, B. P.** (2018). DNA methylation loss in late-replicating domains is linked to mitotic cell division. *Nature Genetics*, v.50, n.4, p.591–602.
- Zhu, J. K., Shi, J., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M.** (1993). Expression of an atriplex nummularia gene encoding a protein homologous to the bacterial molecular chaperone DnaJ. *THE PLANT CELL ONLINE*, v.5, n.3, p.341–349.