



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JOSÉ FLAILDO DE SOUSA SILVA FILHO

CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E BIOQUÍMICA DE CULTIVARES DE SOJA
SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO SEVERO

FORTALEZA

2022

JOSÉ FLAILDO DE SOUSA SILVA FILHO

CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA DE CULTIVARES DE SOJA SUBMETIDAS AO
DÉFICIT HÍDRICO SEVERO

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

Orientador(a): Prof.(a) Dr(a). Rosilene Oliveira
Mesquita

Coorientador: Ms. Rafael Santiago da Costa

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S58c Silva Filho, José Flaildo de Sousa.
Caracterização biométrica e bioquímica de cultivares de soja submetidas ao déficit hídrico severo / José Flaildo de Sousa Silva Filho. – 2022.
45 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.
Coorientação: Prof. Me. Rafael Santiago da Costa.
1. Estresse hídrico. 2. Glycine max L.. 3. Taxa de crescimento. 4. Solutos orgânicos. I. Título.
CDD 630
-

JOSÉ FLAILDO DE SOUSA SILVA FILHO

CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA DE CULTIVARES DE SOJA SUBMETIDAS AO
DÉFICIT HÍDRICO SEVERO

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 04/02/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a. Rosilene Oliveira Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Rafael Santiago da Costa (Coorientador)
Doutorando em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Johny de Souza Silva
Doutorando em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Letícia Kenia Bessa de Oliveira
Doutoranda em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a Deus, pois sem Ele nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me proporcionar mais essa conquista e por ter me dado força e determinação necessárias para alcançá-la.

Aos meus pais, Maria Irismar e José Flaildo, por todo o apoio, amor e paciência durante todos os anos de curso. As minhas irmãs Maria Daniele e Maria Darline por todo o carinho, apoio e companheirismo ao longo do tempo. Ao meu sobrinho José Valentim que trouxe mais doçura a nossa família.

A todos os meus familiares que torceram e me apoiaram durante essa caminhada.

Aos amigos Paulo, Larissa, Roberta, Igor, Leolete, Daniela, Wender, Matheus, Pedro, Rennan, Fernando, Lucas e todos os demais que viveram comigo essa experiência, sem dúvidas a amizade e suporte de vocês fez com que tudo fosse melhor e mais divertido.

À Professora Rosilene, por ter aceitado me orientar, ter acreditado no meu potencial e me dado a chance de mostrá-lo.

Ao meu amigo Rafael Santiago, por ter aceitado me co-orientar, pela paciência, pelas valiosas e incontáveis horas dedicadas ao trabalho.

Aos participantes da banca avaliadora, Letícia Kenia e Johny de Souza, pela colaboração tanto nas análises quanto elaboração textual desse trabalho. Aos colegas do grupo GEEPEN, por terem estado ao meu lado durante o período de avaliação.

Agradeço aos professores Humberto e Enéas por nos receber e permitir as análises no laboratório de fisiologia vegetal.

A todos aqueles que passaram pela minha vida e que de alguma forma deixaram algum aprendizado ou legado, colaborando para o meu desenvolvimento técnico científico e pessoal. Todos somos canais de aprendizado e, de uma forma ou de outra, a transmissão de conhecimento é uma via de mão dupla excepcional para nosso crescimento nos mais diferentes aspectos.

À Universidade Federal do Ceará, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

RESUMO

O déficit hídrico (DH), considerado um dos principais fatores limitantes da agricultura, afeta o crescimento, o desenvolvimento, e as respostas bioquímicas de inúmeras culturas. As plantas respondem ao mesmo de forma complexa, envolvendo uma gama de fatores relacionados a características genéticas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo determinar, por meio de uma caracterização biométrica e bioquímica, o grau de tolerância ao déficit hídrico de quatro cultivares comerciais de soja para alto rendimento. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sob um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, referente a duas condições hídricas (irrigado e déficit hídrico) e quatro cultivares comerciais de soja indicadas para o Nordeste (Brasmax Extrema IPRO, Monsoy 8644, Monsoy 8349 e TMG 2383) com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. As variáveis biométricas avaliadas foram: taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), razão de massa foliar (RMF), razão de massa caulinar (RMC), razão de massa radicular (RMR), razão raiz/parte aérea (R/PA); e as variáveis bioquímicas foram: carboidratos solúveis, N-aminossolúveis, proteínas solúveis, prolina, e as atividades das enzimas dismutase do superóxido (SOD), peroxidase do ascorbato (APX), catalase (CAT) e peroxidase do guaiacol (GPOD). O fator isolado DH reduziu cerca de 23,73% da taxa de crescimento absoluto, 18,15% da taxa de crescimento relativo, 14,79% da razão R/PA, em comparação ao tratamento controle. Para as análises bioquímicas o estresse hídrico aumentou cerca de 24,51% prolina, 46,74% de N-aminossolúveis, 19,4% de carboidratos solúveis, 12,98% de proteínas solúveis, 9,76% na atividade da enzima APX e 40,97% da enzima GPOD, em relação ao tratamento controle. As cultivares Monsoy 8644 e Extrema IPRO exibiram os melhores resultados para as variáveis biométricas, apresentando um melhor desenvolvimento das plantas. A exposição ao déficit hídrico fez com que as cultivares aumentassem a quantidade dos solutos orgânicos, com destaque para a cultivar Extrema IPRO. Pode-se concluir que o déficit hídrico é desfavorável para a taxa de crescimento e razões de massas nas plantas de soja, independente da cultivar. As cultivares Extrema IPRO e TMG 2383 apresentaram um alongamento radicular superior e as maiores atividades do sistema antioxidante, indicando maior tolerância ao DH em relação às demais cultivares, podendo ser indicada para o cultivo na região Nordeste.

Palavras-chave: Estresse hídrico. *Glycine max* L. Taxa de crescimento. Solutos orgânicos.

ABSTRACT

Water deficit (DH), considered one of the main limiting factors in agriculture, affects the growth, development, and biochemical responses of numerous crops. Plants respond to it in a complex way, involving a range of factors related to genetic, morphological, physiological and biochemical characteristics. In this sense, this work aimed to determine, through a biometric and biochemical characterization, the degree of tolerance to water deficit of four commercial high-yield soybean cultivars. The experiment was carried out in a greenhouse, under a completely randomized design, in a 2 x 4 factorial scheme, referring to two water conditions (irrigated and water deficit) and four commercial soybean cultivars indicated for the Northeast (Brasmax Extrema IPRO, Monsoy 8644, Monsoy 8349 and TMG 2383) with five replications, totaling 40 experimental units. The biometric variables evaluated were: absolute growth rate (TCA), relative growth rate (TCR), specific leaf area (AFE), leaf area ratio (RAF), leaf mass ratio (RMF), stem mass ratio (RMC), root mass ratio (RMR), root/shoot ratio (R/PA); and the biochemical variables were: soluble carbohydrates, soluble N-amino, soluble proteins, proline, and the activities of the enzymes superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), catalase (CAT) and guaiacol peroxidase (GPOD). The isolated factor DH reduced about 23.73% of the absolute growth rate, 18.15% of the relative growth rate, 14.79% of the R/PA ratio, compared to the control treatment. For biochemical analysis, water stress increased about 24.51% proline, 46.74% soluble N-amino, 19.4% soluble carbohydrates, 12.98% soluble proteins, 9.76% APX enzyme activity and 40.97% of the GPOD enzyme, in relation to the control treatment. The cultivars Monsoy 8644 and Extrema IPRO showed the best results for the biometric variables, showing better plant development. Exposure to water deficit caused the cultivars to increase the amount of organic solutes, especially the cultivar Extrema IPRO. It can be concluded that the water deficit is unfavorable for the growth rate and mass ratios in soybean plants, regardless of the cultivar. The cultivars Extrema IPRO and TMG 2383 showed superior root elongation and the highest activities of the antioxidant system, indicating greater tolerance to DH in relation to the other cultivars, and may be indicated for cultivation in the Northeast region.

Keywords: Water stress. *Glycine max* L. Growth rate. Organic solutes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. <i>Geral</i>	11
2.2. <i>Específicos</i>	11
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1. Caracterização da cultura da soja	12
3.2. Efeito limitante do déficit hídrico.....	13
3.3. Respostas bioquímicas da soja ao déficit hídrico	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1. Localização do experimento.....	17
4.2. Material vegetal utilizado e condições de cultivo	17
4.3. Delineamento experimental e tratamentos	18
4.4. Irrigação.....	18
4.5. Variáveis analisadas	19
4.5.1. <i>Razões biométricas</i>	19
4.5.2. <i>Variáveis bioquímicas</i>	20
4.6. Análise estatística e confecção dos gráficos.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6. CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

A seca é uma das principais problemáticas agrícolas que causam redução na produtividade da cultura, tendo em vista que a água é um fator crucial para o desenvolvimento vegetal. (DUTRA et al., 2012). No Brasil, a seca atinge principalmente o Nordeste, que tem essa característica por apresentar grandes períodos com ausência de chuvas e por possuir uma alta taxa evaporativa. (FERREIRA et al., 2009).

As plantas quando expostas ao DH por períodos extensos desenvolvem uma variedade de respostas que induz a redução na atividade fotossintética e aumento na respiração (PEREIRA et al., 2012), mudando a expressão genética e o metabolismo celular. Algumas modificações bioquímicas e fisiológicas podem ocorrer devido a severidade do estresse hídrico, dentre elas estão inclusas as alterações nas atividades das enzimas na fase bioquímica da fotossíntese, do metabolismo dos carboidratos e do nitrogênio (LIMA, 2008). Essas mudanças que ocorrem no metabolismo da planta fazem com que as mesmas possam desenvolver um mecanismo de adaptação e tolerância ao déficit hídrico.

Além disso, o DH pode reduzir o desempenho agrônomo da maior parte das culturas, como exemplo a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (VIEIRA, et al., 2012). A soja, atualmente, é uma das principais commodities do país, é uma planta autógama, pertencente à família Fabaceae que produz frutos do tipo vagem. É o grão mais produzido no país gerando um valor bruto de produção elevado quando comparado aos outros grãos (BORDINGNON et al., 1994; PEREIRA JÚNIOR et al., 2010; CASTRO, et al., 2015).

As plantas quando expostas ao DH por períodos extensos faz com que se desenvolvam uma variedade de respostas que induz a redução na atividade fotossintética e aumento na respiração (PEREIRA et al., 2012), mudando a expressão genética e o metabolismo celular. Algumas modificações bioquímicas e fisiológicas podem ocorrer devido a severidade do estresse hídrico, dentre elas estão inclusas as alterações nas atividades das enzimas na fase bioquímica da fotossíntese, do metabolismo dos carboidratos e do nitrogênio (LIMA, 2008). Essas mudanças que ocorrem no metabolismo da planta fazem com que as mesmas possam desenvolver um mecanismo de adaptação e tolerância ao déficit hídrico.

Segundo Matika & Loake (2013), as modificações nas plantas podem torná-las mais tolerantes aos estresses ambientais, dessa forma, a identificação e a compreensão dessas alterações podem proporcionar a obtenção de cultivares mais tolerantes ao DH. Assim, a caracterização biométrica e bioquímica de cultivares de soja submetidas ao estresse hídrico é de suma importância para auxiliar na expansão do cultivo da soja na região Nordeste, uma vez que plantas tolerantes e resistentes às secas são mais indicadas para a região.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

- Realizar uma caracterização biométrica e bioquímica em quatro cultivares comerciais de soja, de modo a determinar o grau de tolerância ao déficit hídrico.

2.2. Específicos

- Determinar os teores de solutos orgânicos e a atividade enzimática do sistema antioxidante de defesa das cultivares de soja;
- Averiguar a eficiência do sistema antioxidante das quatro cultivares de soja e identificar as cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Caracterização da cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma leguminosa, pertencente à família Fabaceae, originária da Ásia, sendo atualmente uma das principais commodities em todo o mundo, incluindo no Brasil (HYMOWITZ, 1970; ARTUZO et al., 2018). Nas últimas décadas, essa cultura se expandiu para o Sudeste, Norte e Nordeste brasileiro e na última safra, a produção brasileira foi de 135,9 milhões de toneladas, numa área cultivada de 38,5 milhões de hectares e produtividade média de 3.528 kg/ha (SEDIYAMA et al., 2009; CONAB, 2021). Esse progresso deve-se, em grande parte, às pesquisas e tecnologias desenvolvidas desde a introdução no país, garantindo lavouras de soja do Rio Grande do Sul ao Tocantins, Pará, Amazonas, Bahia, Piauí, Maranhão e demais regiões do Norte e Nordeste do Brasil (BEZERRA et al., 2015).

A soja é uma cultura anual, possui porte herbáceo, apresenta germinação epígia, seu ciclo de vida é variável, girando em torno de 70 a 200 dias, e as cultivares melhoradas apresentam hábito de crescimento ereto a prostrado, vagens pubescentes na cor cinza ou marrom, com boa qualidade visual e fisiológica, resistência a pragas, doenças, herbicidas e alta produtividade (SEDIYAMA et al., 2009; SEDIYAMA et al., 2005). Suas sementes apresentam em torno de 40% de proteína, sendo uma excelente fonte proteica que pode ser utilizada tanto na alimentação animal quanto humana, além de ser uma excelente fonte de minerais como P, K, Ca e vitaminas (GOUVEIA et al., 2020).

O sistema radicular da soja é do tipo pivotante, com uma raiz principal e ramificações laterais, e é capaz de estabelecer interação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio fornecendo-o para a planta. O caule é pubescente e ereto, frequentemente ramificado. As plantas de sojas apresentam tipo de crescimento indeterminado, semi-determinado ou determinado. As folhas primárias são unifolioladas e opostas, de forma que as demais são trifolioladas alternadas. As flores da soja desenvolvem-se em racemos axilares ou terminais, em número de 2 a 35 por inflorescência, nas cores branca ou roxa. As flores possuem cálice, corola, androceu e gineceu, sendo, portanto, considerada flor completa (NOGUEIRA et al., 2009).

O desenvolvimento da soja compreende duas principais fases, a vegetativa e a reprodutiva. A duração de cada fase é controlada geneticamente e influenciada por condições ambientais. A classificação das fases é feita com base na observação das folhas, flores e no desenvolvimento da vagem e semente que se encontram nos nós da haste principal da planta (NOGUEIRA et al., 2013).

A cultura da soja necessita de solos profundos, que favorecem o desenvolvimento do sistema radicular, possibilitando a planta utilizar um volume maior de solo e, desse modo, maior quantidade de nutrientes e água. A topografia deve ser plana ou com leve declividade. Possuir boa drenagem, pois a soja não suporta encharcamento, e boa aeração para a expansão do sistema radicular. A disponibilidade de água é importante no decorrer de todo o desenvolvimento da cultura; contudo, o período de germinação, emergência e o de floração e enchimento de grãos são os mais críticos. Conforme a planta se desenvolve, a necessidade de água vai ampliando, atingindo o máximo durante a floração e o enchimento de grãos, diminuindo após esse período (SILVA et al., 2015).

A disponibilidade hídrica é um dos fatores fundamentais para a produtividade da soja. A necessidade total de água da, para obtenção do maior desempenho, varia entre 450 e 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo do cultivar (EMBRAPA, 2010). Na maior parte das áreas brasileiras cultivadas, a disponibilidade de água durante os estádios de desenvolvimento da planta constitui-se, ainda na principal limitação à produtividade da cultura (SENTELHAS et al., 2015).

3.2. Efeito limitante do déficit hídrico

A água é o recurso natural de maior presença na constituição das células vegetais, atingindo 90% do peso das plantas, dependendo da espécie. Sendo assim, fundamental nos processos fisiológicos e bioquímicos da planta. Desempenha a função de solvente, através do qual gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se através da planta. Além disso, contribui diretamente no desenvolvimento e sustentação dos tecidos vegetais, regulação térmica, agindo tanto no resfriamento como na distribuição do calor (BROETTO et al., 2017).

Dentre inúmeros recursos essenciais para as plantas, a água é um dos mais restritivos para a produtividade agrícola. A produtividade agrícola está submetida a atuação das adversidades climáticas, tais como baixas ou elevadas temperaturas, baixa luminosidade e escassez ou excesso de chuvas, sendo o último o fator mais limitante para a produção agrícola (FIOREZE et al., 2011). Cada espécie vegetal reage de uma forma frente ao déficit hídrico, e essa reação depende da intensidade e duração do estresse, bem como da sua adaptabilidade (RAHNAMA et al., 2011).

Durante o déficit hídrico, os ajustes fisiológicos determinam as respostas adaptativas de ordem anatômica e morfológica da planta, mas as respostas dependem da severidade do déficit hídrico e sua duração, do genótipo e estágio de desenvolvimento da planta. Assim, as plantas conseguem desenvolver a capacidade de resistir a grandes períodos de

estresse hídrico, utilizando meios para diminuir a perda de água (FERRARI et al., 2015). A soja é uma planta tolerante ao estresse hídrico, desde que essa condição não ocorra em estádios críticos do ciclo da planta (GAVA et al., 2016).

A deficiência hídrica no início do ciclo da soja, causa forte redução na emissão de novos ramos reduzindo potencialmente o número de nós que iriam produzir vagens. Porém, a planta pode se recuperar parcialmente, caso haja melhor disponibilidade de água após o florescimento, podendo emitir e fixar um número maior de flores nos novos nós para produzir vagens, podendo ainda reduzir a formação de novas folhas para sustentar o enchimento de grãos (MUNDSTOCK & THOMAS, 2005).

O estresse hídrico provoca ainda alterações como a redução do potencial hídrico foliar, o fechamento estomático, a diminuição da taxa fotossintética, a redução da sua parte aérea, a aceleração da senescência, abscisão das folhas e maior produção de osmorreguladores. Na fisiologia da soja, ocorrem alterações tanto ao nível do metabolismo, quanto morfológico, de modo a promover um ajuste da planta ao ambiente adverso (FERRARI et al., 2015).

As secas severas, na fase vegetativa, reduzem o crescimento da planta, diminuindo a área foliar e o rendimento dos grãos, podendo em muitos casos causar a morte da planta. O estresse causado por deficiência de água determina a ocorrência de plantas de soja pouco desenvolvidas, com pequena estatura, área foliar reduzida e entrenós curtos. Os tecidos vegetais apresentam aspecto de murcha e os folíolos tendem a se fechar para diminuir a exposição da área foliar (FARIAS et al., 2007).

A falta de água, ocasiona a redução do potencial hídrico das folhas, provocando o fechamento dos estômatos e por consequência, diminuição das trocas gasosas, impossibilitando processos fisiológicos e bioquímicos, como a fotossíntese, absorção de íons, respiração, metabolismo dos nutrientes (GONÇALVES, 2013).

Segundo Gava (2016), o déficit hídrico severo e moderado, quando ocorrem continuamente ao longo do ciclo da soja, influenciam no número de vagens por planta, com mesma intensidade, que a ocorrência de maneira isolada apenas nos períodos de fase vegetativa, e de floração. A produtividade é afetada pela ocorrência de déficit hídrico no período fenológico que compreende entre a completa formação de vagens e formação da produção. A ocorrência de déficit moderado e severo nas fases de desenvolvimento vegetativo e floração ao início da frutificação, respectivamente, prejudicaram o crescimento das plantas, mas não afetaram a produtividade.

3.3. Respostas morfológicas e bioquímicas da soja ao déficit hídrico

A demanda hídrica altera de acordo com o estágio que a planta se encontra, variando desde pequenas quantidades na germinação até altas demandas no período de floração e formação das vagens com decréscimo no período de maturação dos grãos. O déficit hídrico desencadeia mudanças na relação entre a célula e a água e nos processos morfofisiológicos (CORDEIRO et al., 2009). Segundo Farias et al. (2017), plantas que sofrem esse tipo de estresse tem menor acúmulo de biomassa, comprometendo a expansão das folhas, bem como seu número e consequentemente afetando a área foliar total e as taxas de crescimento.

O estresse hídrico desencadeia mudança na fisiologia das plantas, como um menor suprimento de CO₂ para a fotossíntese, resultado da menor taxa transpiratória que é resultante do maior fechamento estomático (ASHRAF & HARRIS, 2013). A capacidade da planta de manter suas atividades metabólicas quando são submetidas a deficiência hídrica é ocasionada por reorganizações celulares que envolvem mudanças: nos seus ciclos de síntese de substâncias, aumentando a produção do ácido indol-acético; no sistema de endomembranas, aumentando a síntese de oxirredutores; na vacuolização, acumulando fotoassimilados, no interior dos vacúolos celulares; bem como alterações na arquitetura da parede celular (MENESES et al., 2006; TAIZ et al., 2017).

A deficiência hídrica provoca uma redução na atividade fotossintética, levando ao menor uso da radiação, ocasionando assim, um acúmulo de NADPH. O excesso de NADPH pode reduzir consideravelmente o poder redutor na cadeia de transporte de elétrons, podendo haver escape de elétrons que reagindo com o oxigênio molecular (O₂) formam as espécies reativas de oxigênio (ERO's) (RESENDE, 2003). Nessa perspectiva, as ERO's quando mantidos em baixas concentrações, é provável que funcione como sinalizadores bioquímicos do estresse, levando assim a respostas defensivas e a aclimação das plantas como os causados pelo estresse hídrico (BARBOSA et al, 2014).

Quando em concentrações excessivas, os níveis tóxicos das ERO's tornam-se prejudiciais, uma vez que as plantas não são capazes de metabolizar altos níveis, causando assim a peroxidação lipídica, oxidação de proteínas, inibição enzimáticas e danos ao DNA e RNA (GILL & TUTEJA, 2010). Como forma de reduzir os danos oxidativos, as plantas possuem um sistema de defesa antioxidativo que envolve compostos de baixa massa como o ácido ascórbico e a glutamina reduzida, ou lipofílicas como o α -tocoferol e os carotenóides, além de enzimas como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX), glutatona peroxidase (GPX), peroxidase não específicas (POX), redutase da

glutathione (GR), monodeshydroascorbate reductase (MDHA) e deshydroascorbate reductase (BARBOSA et al., 2014).

Vale ressaltar ainda, que as plantas sob déficit hídrico produzem uma maior quantidade de osmorreguladores, como a prolina, N-aminossolúveis e outros compostos orgânicos que permitem que a planta tente manter seu status hídrico adequado, buscando manter os processos vitais para sua sobrevivência (HOSSAIN et al. 2014, AKITHA; GIRIDHAR, 2015). Nesse sentido, Oliveira (2020), trabalhando com feijão-caupi na fase germinativa sob déficit hídrico verificou maior acúmulo de prolina e N-aminossolúveis, como resposta das plantas aos fatores adversos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização do experimento

O experimento foi conduzido durante os meses de janeiro e fevereiro de 2021, por um período de 38 dias após a semeadura (DAS) em casa de vegetação (Figura 1) pertencente ao departamento de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no Campus do Pici, situada em Fortaleza – CE, sob as coordenadas geográficas: latitude de 3°43'02" S, longitude de 38° 32'35" W.



Figura 1. Casa de vegetação onde o experimento foi realizado, Campus do Pici – UFC.

4.2. Material vegetal utilizado e condições de cultivo

Foram utilizadas sementes de quatro cultivares de soja para alto rendimento indicadas para o Nordeste (Brasmax extrema IPRO, Monsoy 8644, Monsoy 8349 e TMG 2383), fornecidas pela fazenda Faedo, localizada em Limoeiro do Norte – CE. As sementes foram semeadas em vasos contendo 5 kg de solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (LIMA et al., 2002), coletado no Campo Experimental de Pacajus (Tabela 1), pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). O mesmo foi devidamente adubado utilizando fertilizantes químicos, segundo a metodologia de Faquin et al. (2008), baseado em estudos anteriores em vasos com solo.

Tabela 1 - Características químicas do solo antes da adubação.

MO	P	K	Mg	Ca	Na	H+Al	SB	CTC	V	PST	pH	CE
(g/dm ³)	(mg/dm ³)	.....	.....	.....	.....	(mmolc/dm ³)	.....	.....	.....	(%)	.....	(dS/m)
3,6	3	0,37	3,6	5,4	0,18	8	9,5	17,5	60	1	6,4	1,11

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais (LABSAT) do IFCE – Campus Limoeiro do Norte.

4.3. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, referente a duas condições hídricas (controle irrigado e déficit hídrico) e quatro cultivares (Brasmax extrema IPRO, Monsoy 8644, Monsoy 8349 e TMG 2383) com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais (Figura 2).



Figura 2. Plantas identificadas e distribuídas de acordo com delineamento.

Fonte: Aguiar, 2021.

4.4. Irrigação

Foi determinada a capacidade de retenção de água (CRA), conforme descrito por Souza (2000) apud Silva (2019), utilizando a diferença entre o valor de peso do solo úmido após a saturação e a drenagem livre, e o peso do solo seco ao ar. A manutenção de 80% da CRA foi realizada diariamente em todos os vasos, por gravimetria, pesando-as e repondo o volume de água perdido pela evapotranspiração, com o uso de uma balança, até a imposição do déficit nos tratamentos com estresse. Para as plantas que sofreram o déficit hídrico, a imposição do mesmo foi realizada aos 30 dias após semeadura (DAS), mantendo-se a CRA a 40%, por um período de sete 7 dias consecutivos (Figura 3).



Figura 3. Plantas de soja sob déficit hídrico de sete dias consecutivos.

Fonte: Aguiar, 2021.

4.5. Variáveis analisadas

4.5.1. Razões biométricas

Aos 27 (T1) e 37 DAS (T2), antes e após sete dias da imposição do déficit hídrico, foram avaliados: altura da planta e diâmetro do caule (Figura 4A e 4B), sendo essas avaliações realizadas através de uma trena graduada em cm e paquímetro digital, respectivamente, e através dos dados de altura de plantas nesse espaço de tempo, foram calculadas a taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR), através das equações a seguir, seguindo as metodologias de Benincasa (2004) e Reis e Muller (1979), respectivamente:

$TCA = (W2-W1)/(T2-T1) = g \text{ dia}^{-1}$. Onde, W1 e W2 são as variações da massa da matéria seca em duas amostras consecutivas tomadas nos tempos T1 e T2.

$TCR = (\ln W2 - \ln W1)/(T2 - T1) = g \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, onde ln = logaritmo neperiano; W1 e W2 representam a massa da matéria seca nos tempos T1 e T2.

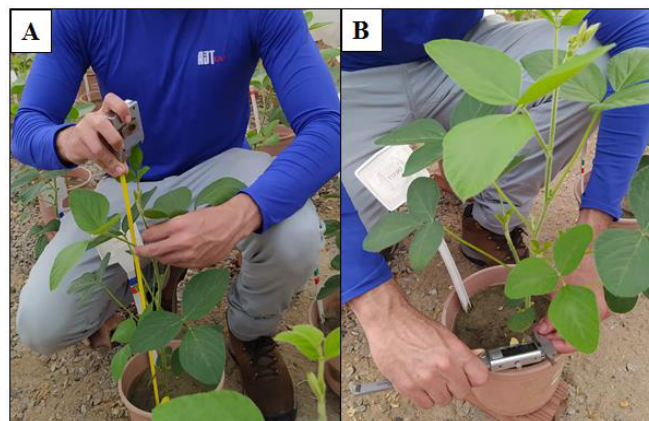


Figura 4. Medição de altura (A) e diâmetro do caule (B) de plantas de soja.

Fonte: Aguiar, 2021.

No final do experimento (38 DAS), foram realizadas também análises destrutivas: área foliar (AF) (Figura 5A) determinada por meio de um integrador de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor., Inc., Lincoln, 87 Nebraska, USA) e massa seca dos órgãos vegetativos, para tanto, os mesmos foram coletados, separados em partes (folhas - MSF, caule – MSC e raízes - MSR), alocados em sacos de papel devidamente identificados e colocados para secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até massa constante, para obtenção das massas secas de cada órgão (g) e total (MST) (Figura 5B).



Figura 5. Medição de área foliar (A) e obtenção das massas secas (B) de plantas de soja.

Fonte: Aguiar, 2021.

Com posse desses dados foram calculadas algumas razões biométricas: área foliar específica (AFE) (AF/MSF), razão de área foliar (RAF) (AF/MST), expressas em $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, razão de massa foliar (RMF) (MSF/MST), razão de massa caulinar (RMC) (MSC/MST), razão de massa radicular (RMR) (MSR/MST), razão raiz/parte aérea (MSR/MSPA), ambas expressas em g g^{-1} , com o intuito de verificar a relação de crescimento da planta, como um todo.

4.5.2. Variáveis bioquímicas

Aos 38 DAS, foi coletada uma folha totalmente expandida do terceiro folíolo, de cada tratamento, alocadas em papel alumínio devidamente identificado, colocadas em ultrafreezer, liofilizadas por 96 horas (Figura 6A) e posteriormente, maceradas manualmente utilizando um cadinho (Figura 6B). O material macerado, foi armazenado em tubos de eppendorfs identificados (Figura 6C) e colocados em temperatura de 4°C para preparação dos extratos para determinação de: carboidratos solúveis, N-aminossolúveis, proteínas solúveis, prolina, e as atividades das enzimas dismutase do superóxido (SOD), peroxidase do ascorbato (APX), catalase (CAT) e peroxidase do guaiacol (GPOD).

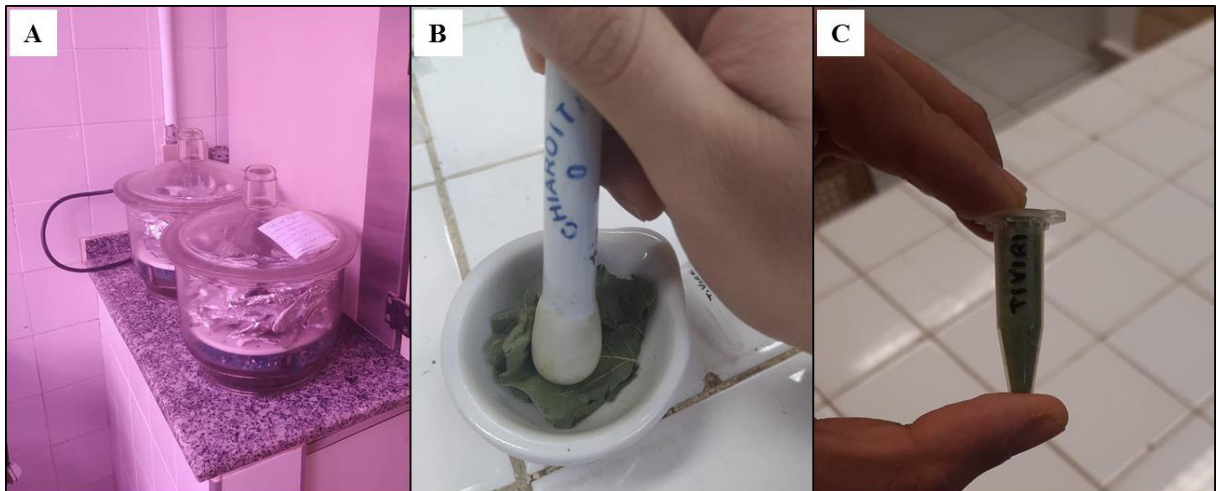


Figura 6. Liofilização (A), maceração (B) e armazenamento das amostras em tubos de eppendorfs (C).

4.5.2.1. Carboidratos solúveis

Os extratos para determinação dos carboidratos solúveis foram preparados a partir de 30 mg de folhas liofilizadas que foram adicionadas a 5 mL de etanol (80%) e colocados em banho a seco a 75 °C por 1h (Figura 7A) e, em seguida centrifugados a 3000 x g a 4 °C por 10 min (Figura B), sendo o sobrenadante coletado (Figura 7C). Foram quantificados os teores de carboidratos solúveis totais, de acordo com os métodos propostos por Dubois et al. (1956) e Nelson (1960), respectivamente, sendo os resultados expressos em μmol de carboidrato g^{-1} de matéria seca (MS).

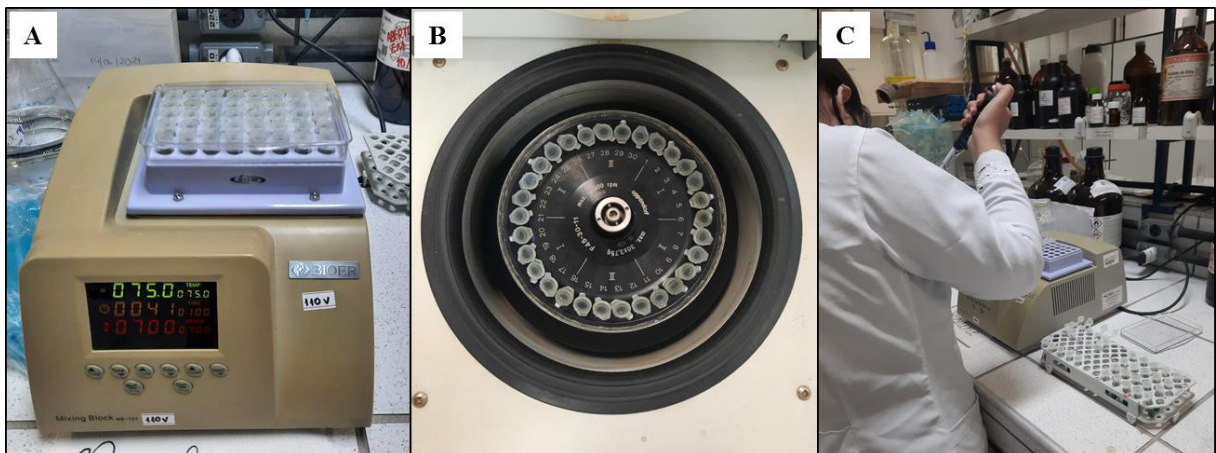


Figura 7. Banho a seco (A), centrifugação (B) e coleta do sobrenadante (C) para análise de carboidratos solúveis.

4.5.2.2. Teores de prolina

Os extratos para quantificação de prolina foram preparados utilizando 20 mg das folhas liofilizadas (Figura 8A) adicionados a 2,0 mL de água deionizada onde permaneceram por 1h com agitação a cada 10 min. Após isso, foram centrifugados a 3.000 x g por 15 min sendo o sobrenadante coletado para quantificação (Figura 8B) em espectrofotômetro com comprimento de onda de 520 nm (Figura 8C). A quantificação foi determinada de acordo com Bates et al. (1973) e o resultado expresso em $\mu\text{mol prolina g}^{-1}$ de MS.

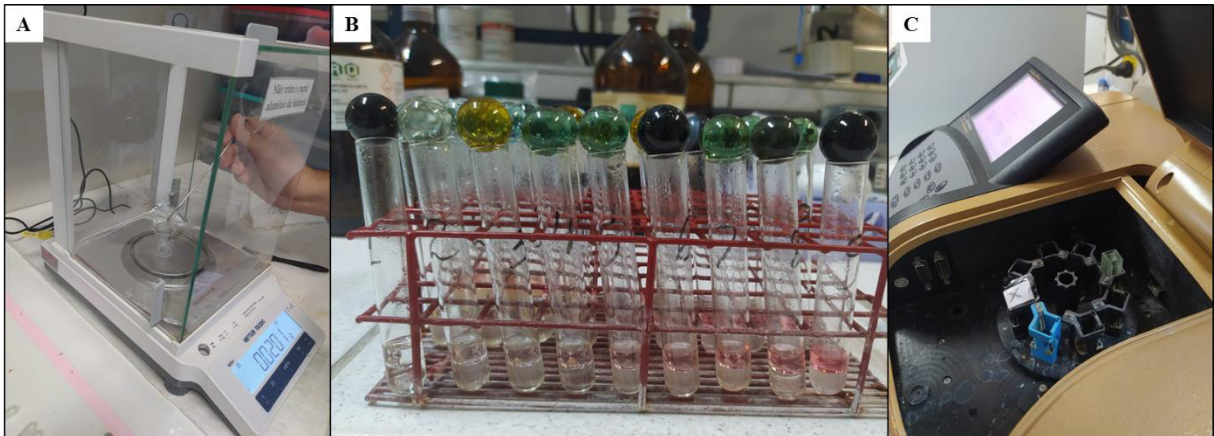


Figura 8. Pesagem (A), coleta do sobrenadante (B) e leitura no espectrofotômetro (C) para análise de prolina.

4.5.2.3. N-aminossolúveis

Para a determinação de N-aminossolúveis, os extratos utilizados foram os mesmos descritos para carboidratos, utilizando a metodologia de Yemm e Cocking (1955). Em tubos de ensaio foram adicionados 0,5 mL do extrato bruto, devidamente diluído, 0,25 mL de tampão citrato a 0,2 M (pH 5,0), 0,5 mL de cianeto de potássio a 0,2 mM em metilcelosolve a 100% e 0,1 mL de ninhidrina a 5% em metilcelosolve a 100% (Figura 9A). Em seguida, os tubos foram fechados, agitados e mantidos em banho-maria a 95 °C, durante 20 min (Figura 9B). A reação foi interrompida colocando-se os tubos em banho de gelo e, após o resfriamento, adicionou-se 0,65 mL de etanol a 60%. Os teores de N-aminossolúveis foram estimados através de leituras de absorbância em 570 nm (Figura 9C), e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS.

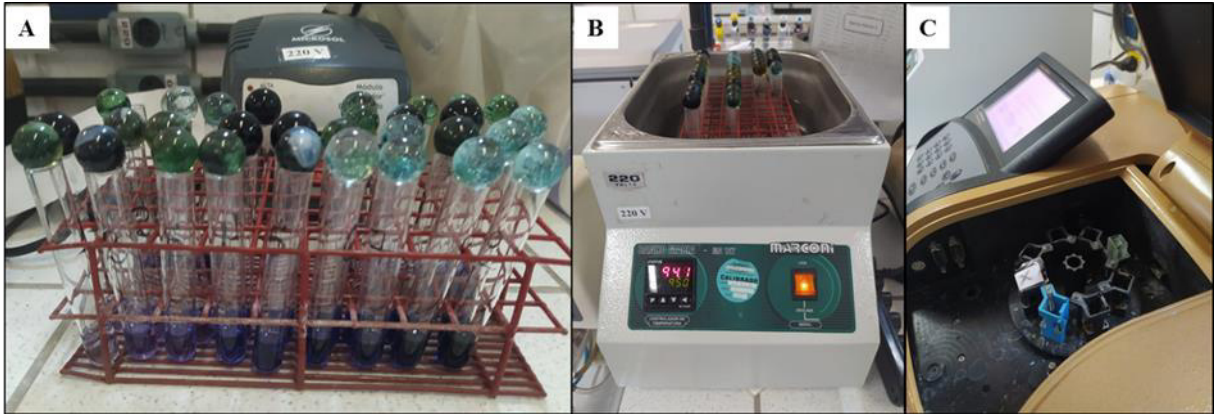


Figura 9. Prerção das amostras (A), banho maria (B) e leitura no espectrofotômetro (C) para análise de N-aminossolúveis.

4.5.2.4. Atividade de enzimas antioxidantes e proteína

Os extratos enzimáticos foram preparados a partir de 1 g de folha fresca, macerado em 5 mL do tampão fosfato de potássio (50 mM e pH 7) e homogeneizado por 10 min. A partir desse extrato foram mensuradas as atividades enzimáticas da APX, GPOD, CAT e SOD, de acordo com os métodos de Nakano e Asada (1981), Kar e Mirsha (1976), Havir e Mchale, (1987) e Beauchamp e Fridovich (1971), respectivamente, utilizando um leitor de microplaca (Figura 10). Os teores de proteína foram quantificados no mesmo extrato das atividades enzimática, a partir do reagente de Coomassie Blue, pelo método proposto por Bradford (1976), sendo as atividades enzimáticas analisadas em leitor de microplaca e expressas em $\text{mmol de H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ de proteína.

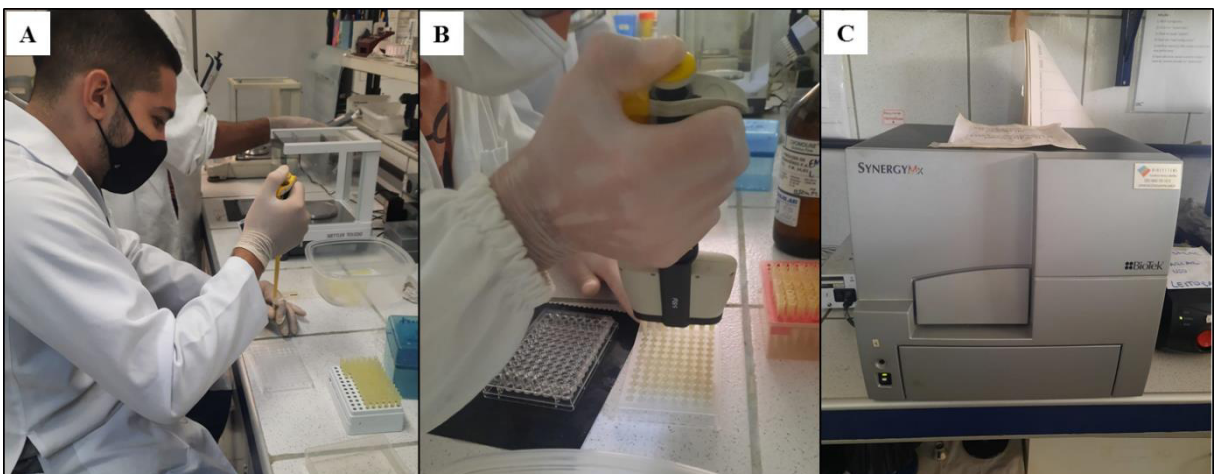


Figura 10. Pipetagem das amostras (A), preparação das microplacas (B) e quantificação no leitor de microplacas (C) para análises de enzimas e proteína.

4.6. Análise estatística e confecção dos gráficos

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativo pelo teste F realizou-se a análise de comparação de médias pelo teste de Tukey, por meio do programa computacional Assistat 7.6 Beta. Os gráficos foram confeccionados por meio do programa SigmaPlot versão 11.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Razões biométricas

Ao observar a análise de variância apresentada na Tabela 2, podemos verificar que o fator isolado irrigação não mostrou significância apenas para as variáveis AFE, RAF e RMC, enquanto que o fator isolado cultivares não mostrou significância apenas para a RMC. Já quando se avaliou a interação entre os fatores, apenas as variáveis RMF, RMC e RMR sofreram influência significativa aos níveis de 1 e 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2 - Análise de variância para taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), razão de massa foliar (RMF), razão de massa caulinar (RMC), razão de massa radicular (RMR) e razão raiz/parte aérea (R/PA) de quatro cultivares de soja submetidas a dois regimes hídricos, Fortaleza - CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio							
		TCA	TCR	AFE	RAF	RMF	RMC	RMR	R/PA
Irrigação	1	2,45**	0,0004**	1770ns	4,97ns	0,005*	0,0003ns	0,008**	0,025**
Cultivares	3	8,22**	0,0003**	5793,2**	955,8*	0,006**	0,002ns	0,01**	0,035**
Int. I x C	3	0,15ns	7x10 ⁻⁶ ns	341,6ns	333,9ns	0,002*	0,005**	0,002*	0,008ns
Resíduo	32	0,14	1x10 ⁻⁵	855,3	182,5	0,0007	0,001	0,0008	0,003
Total	39	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	20,4	11,51	10,07	10,03	5,81	10,36	12,35	17,07

*, ** = Significativo a 5% e a 1% pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Ao avaliar a taxa de crescimento absoluto nas duas condições hídricas (controle e sob déficit hídrico), observou-se que as plantas irrigadas plenamente apresentaram médias superiores às plantas que sofreram imposição do déficit hídrico, verificando uma diferença de 23,73% (Figura 11A). Em relação às cultivares, observou-se que a Monsoy 8644 apresentou a maior média de crescimento absoluto, enquanto que a cultivar Extrema IPRO obteve as menores médias e ao compará-las nota-se uma superioridade de 68,52% (Figura 11B).

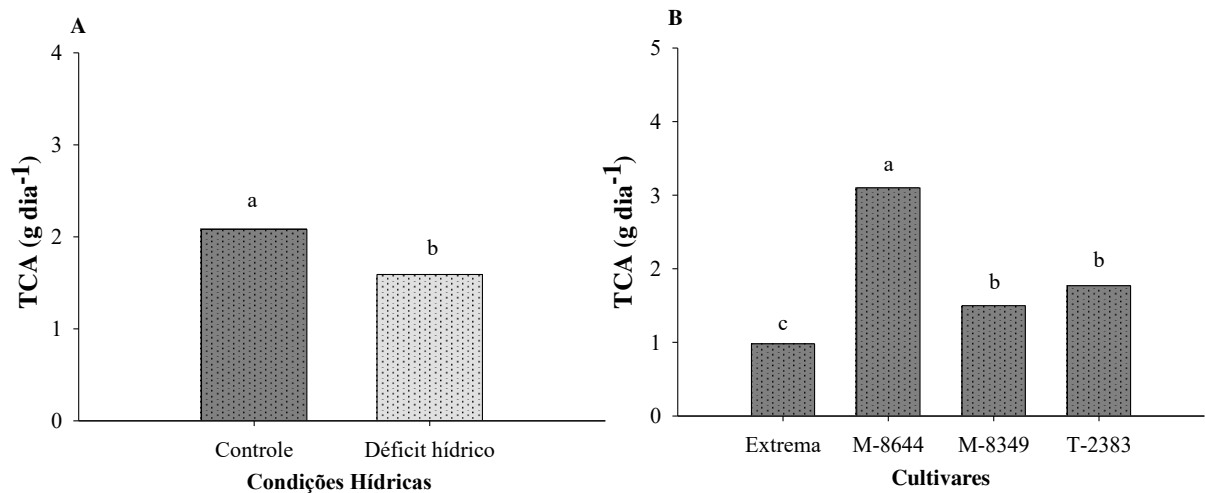


Figura 11. Efeito de duas condições hídricas na taxa de crescimento absoluto (TCA) de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

Resultados semelhantes foram encontrados por Palaretti *et al.* (2015), que trabalhando com feijão sob o efeito do déficit hídrico verificaram que as plantas sob estresse apresentaram menor TCA em relação as plantas controle, indicando que a disponibilidade de água favoreceu o crescimento das plantas. Segundo Jaleel *et al.* (2009), a água é o fator crucial para o desenvolvimento vegetal, tendo em vista que participa de processos vitais e está diretamente relacionada com o alongamento celular, então, os resultados positivos para a TCA em plantas controle podem ser explicados por esses motivos. Já para as cultivares, nota-se que a Monsoy 8644 apresentou maior TCA em relação às demais, isso possivelmente ocorreu pelo fato dessa cultivar ter investido seus fotoassimilados em crescimento, o que pode ser um fator desfavorável, tendo em vista que plantas sob déficit hídrico precisam investir em sistema radicular e osmorreguladores.

Para a taxa de crescimento relativo, verificou-se que as plantas em condições de controle apresentaram médias superiores às plantas que sofreram imposição do déficit hídrico, apresentando uma superioridade de 18,15% (Figura 12A). Em relação às cultivares estudadas, observou-se que Monsoy 8644 e TMG 2383 apresentaram as maiores médias em relação às demais e ao comparar a Monsoy 8644 com a Extrema IPRO, verifica-se uma superioridade de 29,81% (Figura 12B).

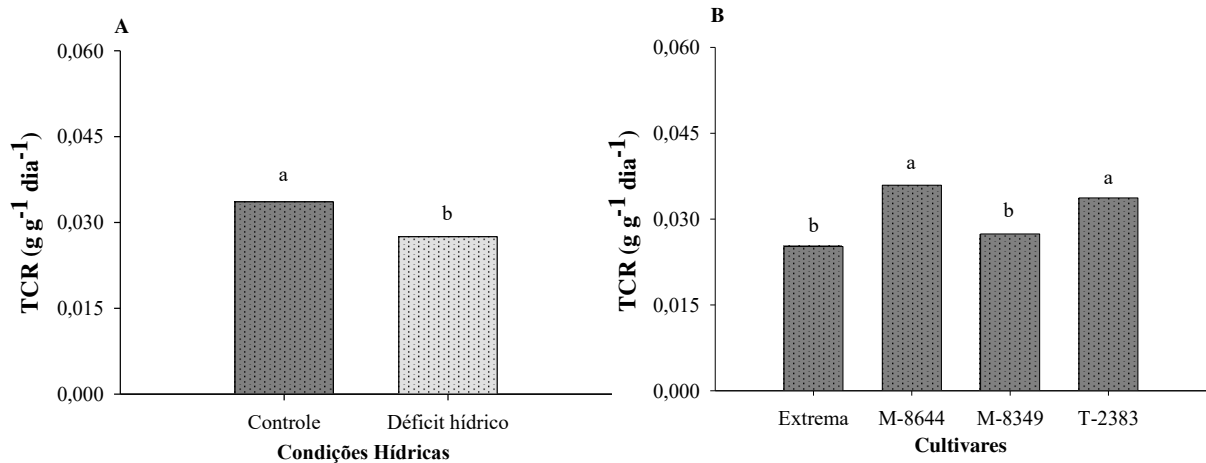


Figura 12. Efeito de duas condições hídricas na taxa de crescimento relativo (TCR) de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

Scalon *et al.* (2011) estudando os efeitos do estresse hídrico em mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) verificaram que a taxa de crescimento relativo (TCR) foram maiores nas mudas sob condições controle. Segundo os autores esses resultados podem estar relacionados com a maior área foliar e à maior abertura dos ostíolos, que propiciaram uma maior taxa fotossintética, logo uma maior produção de fotoassimilados. Então, a baixa disponibilidade de água para a soja pode reduzir tanto a produção como a translocação de fotoassimilados, que afeta a produção de novas estruturas foliares. Nas cultivares avaliadas a Monsoy 8644 apresentou TCR superior às demais, indicando, juntamente com os dados de TCA, que ela investiu sua produção em crescimento.

Para área foliar específica foram observadas respostas semelhantes para as cultivares Extrema IPRO, Monsoy 8644 e TMG 2383, no entanto, esta última não diferiu estatisticamente da Monsoy 8349. Ao comparar a Monsoy 8644 com a Monsoy 8349 verifica-se uma superioridade de 17,67% (Figura 13A). Em relação à razão de área foliar, a cultivar Monsoy 8644 apresentou a maior média para esta variável. Ao comparar os valores obtidos com a Monsoy 8644 em relação a Monsoy 8349, nota-se uma superioridade de 14% (Figura 13B).

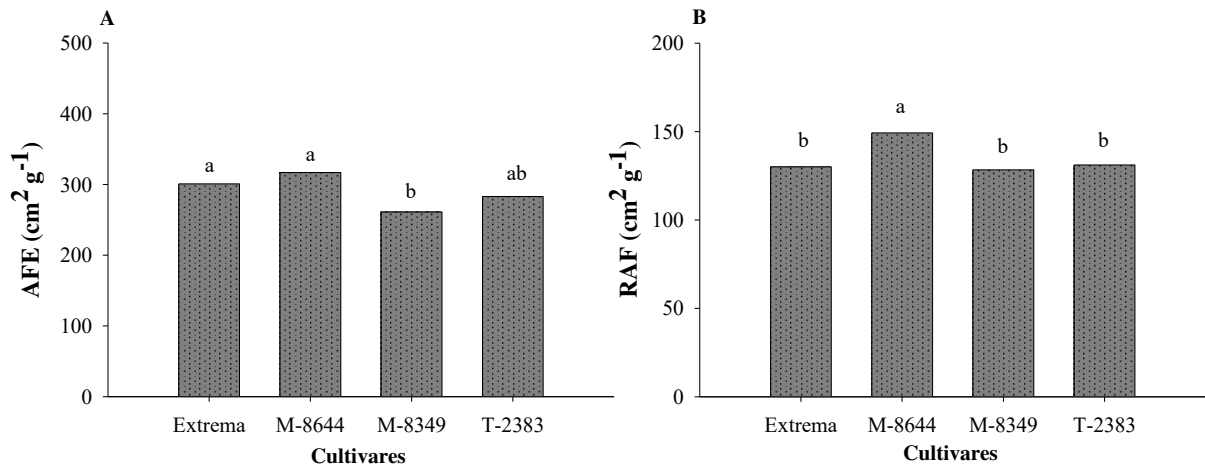


Figura 13. Área foliar específica (A) e razão de área foliar (B) de quatro cultivares de soja, Fortaleza - CE, 2021.

Bastos *et al.* (2019) trabalhando com determinação da área foliar específica (AFE) de diferentes espécies do Pantanal Sul concluíram que as alterações foliares, principalmente a relação área foliar por biomassa, é responsiva às modificações ambientais e genéticas, dentre elas a quantidade de água disponível e a adaptabilidade das espécies. Nesse sentido, podemos correlacionar os resultados superiores da AFE para a cultivar Monsoy 8644 com os dados de TCA e TCR, indicando que essa cultivar apresentou maior altura de plantas, o que pode ser indesejado para a colheita mecanizada.

Já para a razão de área foliar (RAF), Peixoto *et al.* (2011), afirma que a RAF é a relação de quanto de área foliar é necessário para produzir um grama de matéria seca total, e esta, pode ser influenciada por diversos fatores (ARAÚJO JUNIOR *et al.*, 2012), como o déficit hídrico, que pode ocasionar um menor desempenho fotossintético devido ao menor crescimento da área foliar, que age através da interceptação da radiação luminosa e captação de CO₂ na fotossíntese, para a produção de matéria seca. Três cultivares apresentaram médias estatisticamente iguais, indicando uma certa manutenção do crescimento sob condições de estresse, obtendo uma menor RAF devido a um maior investimento em produção de osmorreguladores e atividade do sistema antioxidante.

No que se refere a razão da massa foliar (Figura 14A) podemos verificar que em relação ao déficit hídrico, apenas a cultivar Extrema IPRO apresentou redução deste parâmetro, com uma diferença estatística de 13,44%, porém, quando comparamos as cultivares, podemos notar que a Monsoy 8644 e Monsoy 8349 apresentaram as maiores médias em relação as demais cultivares sob condições de déficit hídrico. Já para a razão da massa caulinar (Figura 14B), novamente a cultivar Extrema IPRO, juntamente com a Monsoy 8349, apresentaram redução

deste parâmetro sob déficit hídrico, por sua vez, a cultivar Monsoy 8644 apresentou estabilidade em função do déficit.

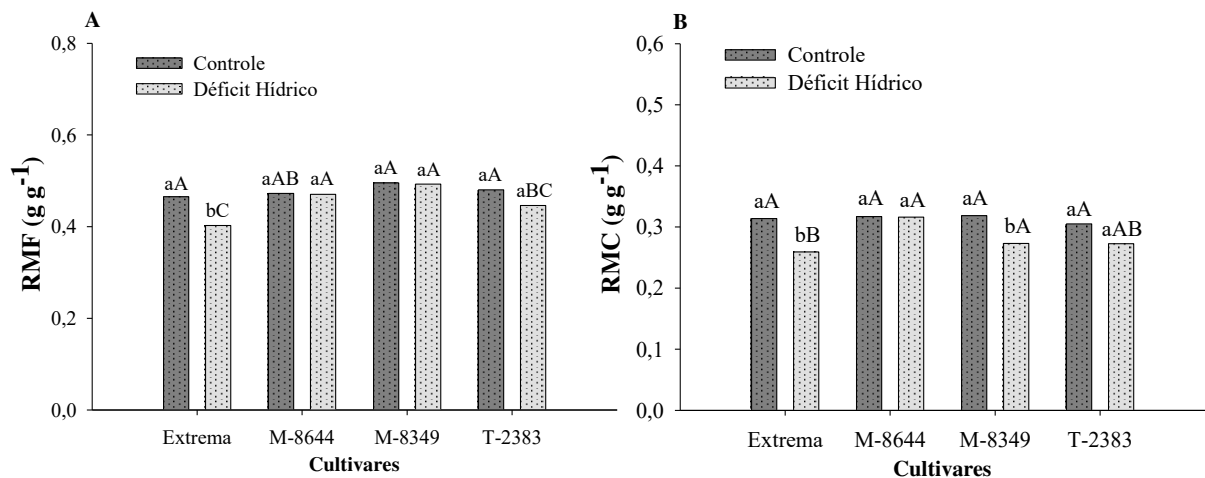


Figura 14. Razão de massa foliar (A) e razão de massa caulinar (B) de quatro cultivares de soja submetidas à duas condições hídricas, Fortaleza - CE, 2021. *Letras minúscula são referentes às condições hídricas e maiúsculas às cultivares.

As folhas são o centro de produção de matéria seca através da fotossíntese. O restante da planta depende da exportação dessa fitomassa, a razão de massa foliar (RMF) expressa a fração de matéria seca não exportada (PEIXOTO, 2020). Nesse sentido, a cultivar Extrema IPRO apresentou a menor razão de massa foliar, indicando que ela reteve menos fitomassa nas folhas quando comparada com as outras cultivares, indicando um maior investimento em outros produtos não relacionados com a produção de biomassa foliar.

Segundo Nobre *et al.* (2013), as plantas quando cultivadas sob condições de restrição hídrica podem ter o crescimento, o desenvolvimento e a produção comprometidos, em função da baixa disponibilidade de água. Nesse sentido, as cultivares Extrema IPRO e Monsoy 8349 apresentaram as menores razões de massa caulinar sob déficit hídrico, possivelmente como uma estratégia para reduzir seu porte e consequentemente reter mais água, para que dessa forma pudessem investir seus produtos em atividades cruciais para a sobrevivência sob condições estressantes.

Para a razão da massa radicular (Figura 15) verificou-se que para as condições hídricas, as cultivares Monsoy 8349 e TMG 2383 apresentaram redução à medida da imposição do déficit hídrico, com diferenças de 18,41 e 23,68%, respectivamente. De modo geral, a cultivar Extrema IPRO apresentou uma maior razão da massa radicular, indicando que essa cultivar investiu mais carboidratos para o aumento do sistema radicular, como estratégia ao déficit.

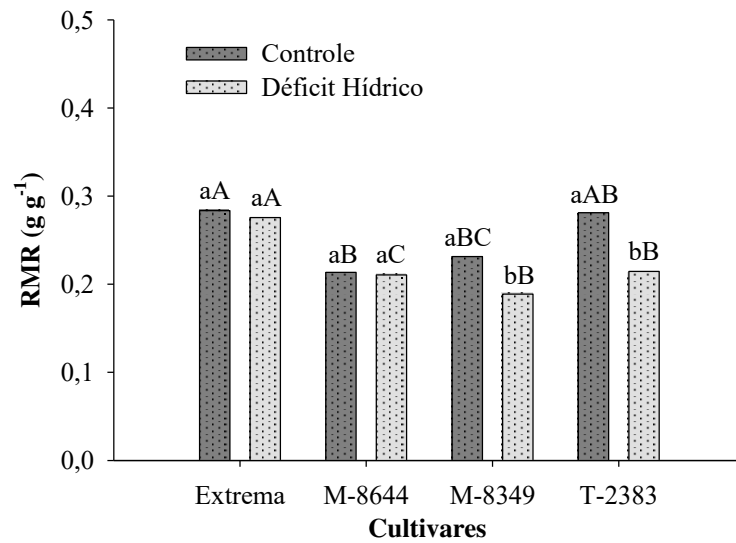


Figura 15. Razão de massa radicular (RMR) de quatro cultivares de soja submetidas à duas condições hídricas, Fortaleza - CE, 2021. *Letras minúscula são referentes às condições hídricas e maiúsculas às cultivares.

O déficit hídrico, ao provocar a secagem superficial do solo, estimula a expansão das raízes, as quais se aprofundam no solo em busca de umidade (GONÇALVES, 2013; SCALON et al., 2011). Nesse sentido, a cultivar Extrema IPRO apresentou uma maior razão da massa radicular, alongando suas raízes na tentativa de melhorar a absorção de água em camadas mais profundas, não diferindo estatisticamente da planta controle. De modo geral, a planta promove o alongamento radicular pelo incremento de fotoassimilados, visando escapar do estresse hídrico e isso pode explicar os resultados negativos para a razão de massa foliar e caulinar, pelo simples fato dessa cultivar ter investido seus fotoassimilados para aumentar a expansão radicular em detrimento dos outros órgãos.

Ao avaliar a razão R/PA das plantas nas duas condições hídricas (controle e sob déficit hídrico), verificou-se que as plantas em condições de controle apresentaram médias superiores às plantas que sofreram imposição do déficit hídrico, observando uma diferença de 14,79% (Figura 16A). Em relação às cultivares estudadas, observou-se que a Extrema IPRO, TMG 2383 apresentaram as maiores médias, no entanto, esta última não diferiu estatisticamente da Monsoy 8349. Ao comparar a Extrema IPRO com a Monsoy 8644, verifica-se uma superioridade de 31,67% (Figura 16B).

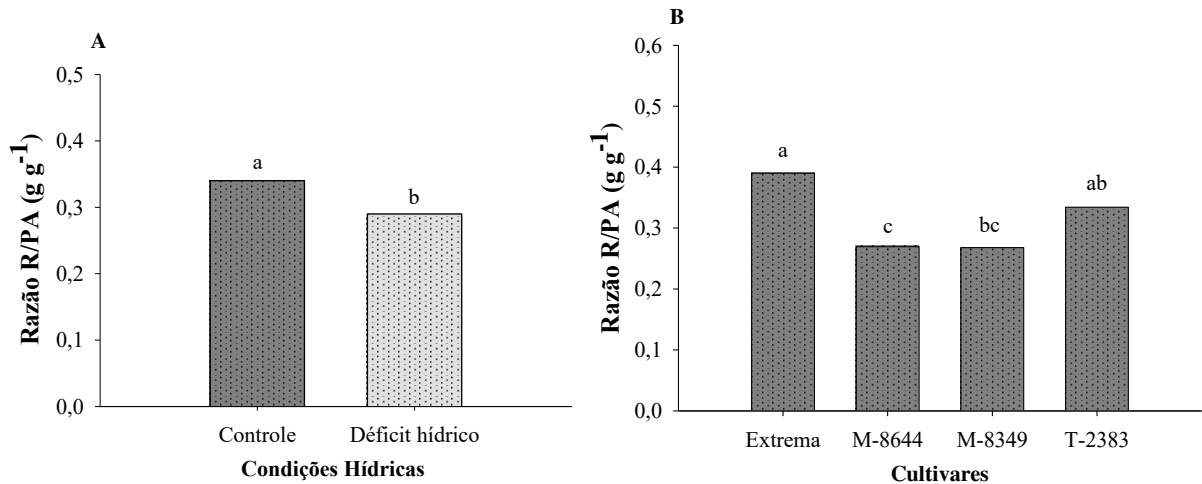


Figura 16. Efeito de duas condições hídricas na razão das massas raiz/parte aérea de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

As plantas em condições de controle apresentam uma maior razão R/PA devido a maior disponibilidade de água, desenvolvendo uma massa radicular superior às plantas submetidas ao déficit hídrico. Em situação de déficit hídrico, a planta investe maior quantidade de fotoassimilados para o desenvolvimento radicular em detrimento da parte aérea, favorecendo a absorção de água e reduzindo a perda de água por transpiração (TAIZ et al., 2017). Nas cultivares avaliadas à Extrema IPRO apresentou maior razão R/PA em relação as demais, ocasionado por um investimento no desenvolvimento do sistema radicular da planta, indicando uma melhor adaptabilidade ao DH.

5.2. Solutos orgânicos e proteína

Para a análise de variância observada na Tabela 3, podemos verificar que os tratamentos isolados (irrigação e cultivares) promoveram respostas significativas para todas as variáveis analisadas ao nível de 1 e 5% pelo teste F, no entanto, não houve efeito da interação entre os fatores avaliados para nenhuma variável testada.

Tabela 3 - Análise de variância para prolina (PRO), N-aminossolúveis (N-am), carboidratos solúveis (CHO) e proteínas solúveis (PROT) em folhas de quatro cultivares de soja submetidas a dois regimes hídricos, Fortaleza - CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio			
		PRO	N-am	CHO	PROT
Irrigação	1	168,47**	75,54**	2,25**	17,35**
Cultivares	3	203,22**	13,25**	0,26*	0,74**
Int. I x C	3	12,02 ns	2,23 ns	0,24 ns	0,27 ns
Resíduo	32	8,99	1,49	0,09	0,16
Total	39	-	-	-	-
CV (%)	-	20,41	27,05	13,95	4,27

*, ** = Significativo a 5% e a 1% pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Para os teores de prolina nas duas condições hídricas verificou-se que as plantas submetidas à imposição do déficit hídrico apresentaram maior acúmulo desse aminoácido. De modo geral, comparando as plantas sob estresse com seus controles, observa-se uma superioridade de 24,51% (Figura 17A). Ao comparar as cultivares submetidas ao estresse hídrico, observou-se que a Extrema IPRO apresentou a maior média para o acúmulo de prolina, não diferindo estatisticamente da Monsoy 8644. Ao comparar a Extrema IPRO com a TMG 2383, verifica-se uma superioridade de 45,97% (Figura 17B).

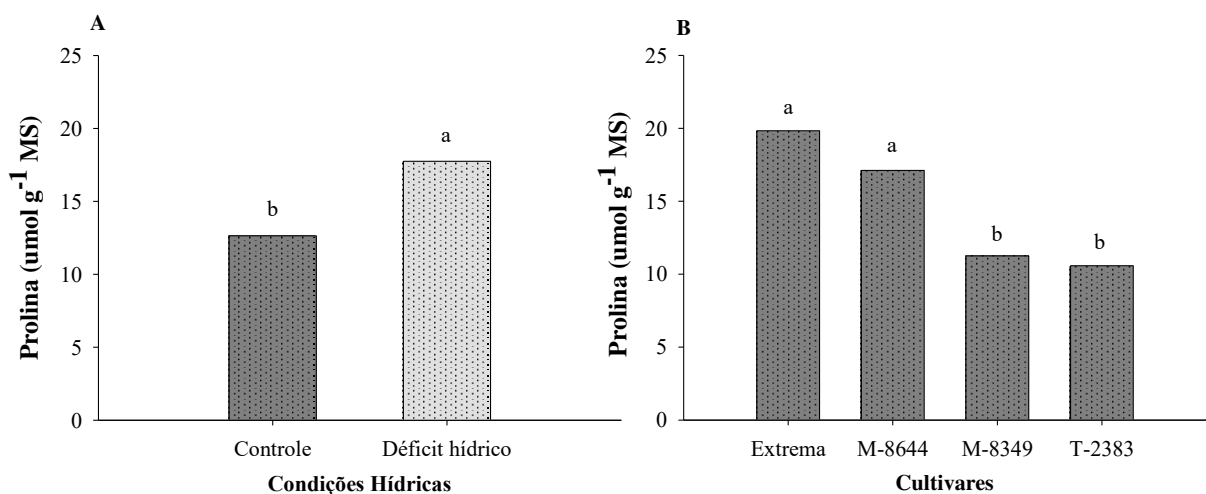


Figura 17. Efeito de duas condições hídricas nos teores de prolina de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

Em plantas submetidas ao déficit hídrico, o aminoácido prolina é acumulado no interior (citosol e vacúolo) das células e atua como um regulador osmótico, protegendo a integridade celular e podendo ainda ser usado como estoque de nitrogênio e carbono, os quais podem ser utilizados após o período de estresse hídrico (FERRARI et al., 2015; TAIZ et al., 2017). Os resultados apresentados, indicam que a medida que houve imposição do déficit hídrico o acúmulo de prolina foi se acentuando, atuando principalmente no aumento da estabilidade das células em reter água sem afetar o metabolismo normal das plantas. Oliveira (2020), avaliando feijão-caupi submetido ao déficit hídrico na fase germinativa, apresentou resultados com maior acúmulo de prolina, como resposta aos fatores adversos.

Ao avaliar os teores de N-aminossolúveis das plantas nas duas condições hídricas, verificou-se que as plantas que sofreram déficit hídrico apresentaram médias superiores de 46,74% em relação as plantas irrigadas (Figura 18A). Em relação às cultivares estudadas, observou-se que a Monsoy 8644 e a Extrema IPRO apresentaram as maiores médias de N-aminossolúveis, enquanto que as cultivares TMG 2383 e Monsoy 8349 obtiveram as menores médias. Ao comparar a Monsoy 8644 com a Monsoy 8349, verifica-se uma superioridade de 38,16% (Figura 18B).

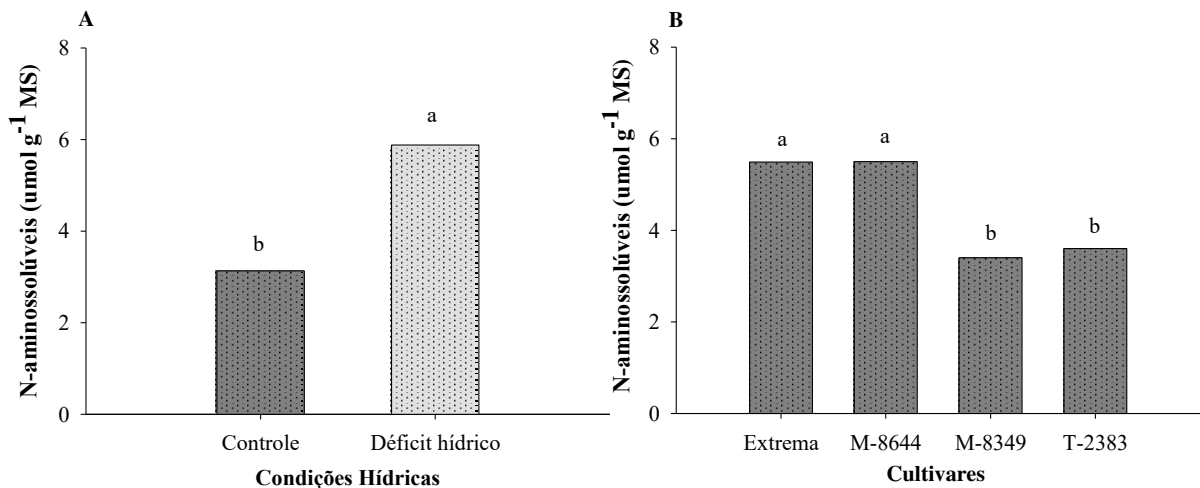


Figura 18. Efeito de duas condições hídricas nos teores de N-aminossolúveis de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

De acordo com Prisco e Gomes-Filho (2010), os solutos orgânicos (N-aminossolúveis, carboidratos solúveis e a prolina) são acumulados no citosol, equilibrando o potencial hídrico entre os diversos compartimentos celulares. Diante disso, as plantas que foram submetidas ao déficit hídrico elevaram o acúmulo de N-aminossolúveis em resposta

à baixa disponibilidade hídrica, podendo ser considerado como um sinal de tolerância ao déficit hídrico. Sendo observado um maior teor do soluto orgânico nas cultivares Monsoy 8644 e Extrema IPRO, podemos associá-las as mais tolerantes ao DH. Alves et al. (2020), em estudos com *Salicornia (Salicornia neei Lag.)*, observaram maiores teores de N-aminossolúveis em plantas sob condições de déficit hídrico, confirmando as afirmações acima.

Ao observar os teores de carboidratos solúveis, as plantas que estavam sob condições de estresse hídrico apresentaram superioridade de 19,4%, comparadas as plantas plenamente hidratadas (Figura 19A). A cultivar Monsoy 8644 apresentou as maiores médias absolutas de carboidratos solúveis, não diferindo estatisticamente das cultivares Extrema IPRO e TMG 2383, enquanto que a cultivar Monsoy 8349 obteve as menores médias. Ao comparar a Monsoy 8644 com a Monsoy 8349, verifica-se uma superioridade de 15,3% (Figura 19B).

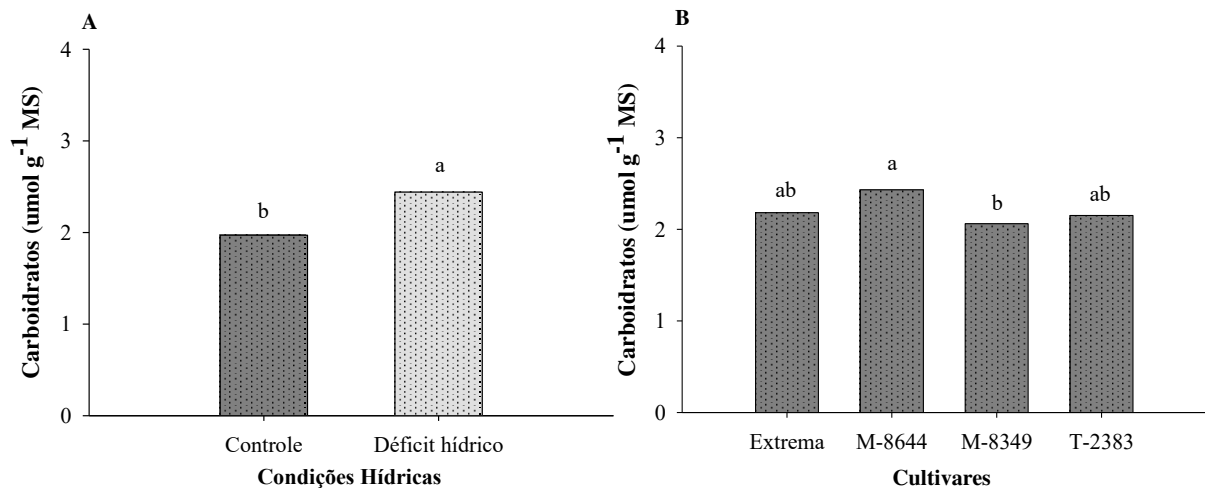


Figura 19. Efeito de duas condições hídricas nos teores de carboidratos solúveis de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

Em condições de estresse hídrico as plantas tendem a aumentar o teor de carboidratos não estruturais nas folhas, caules e raízes, como resposta de defesa e mecanismo de tolerância à deficiência de água (Rich & Watt, 2013). Matos Filho et al. (2020) trabalhando com plantas de arroz mantidas em condições de estresse hídrico, observaram que essas plantas apresentaram maior teor de carboidratos não estruturais em suas folhas quando comparadas às plantas cultivadas em condições ideais de água no solo. No trabalho observa-se que a imposição de déficit hídrico provocou um incremento de 19,4% de carboidratos solúveis em relação com as plantas controle, enquanto que para as cultivares, a Monsoy 8644 apresentou os maiores teores.

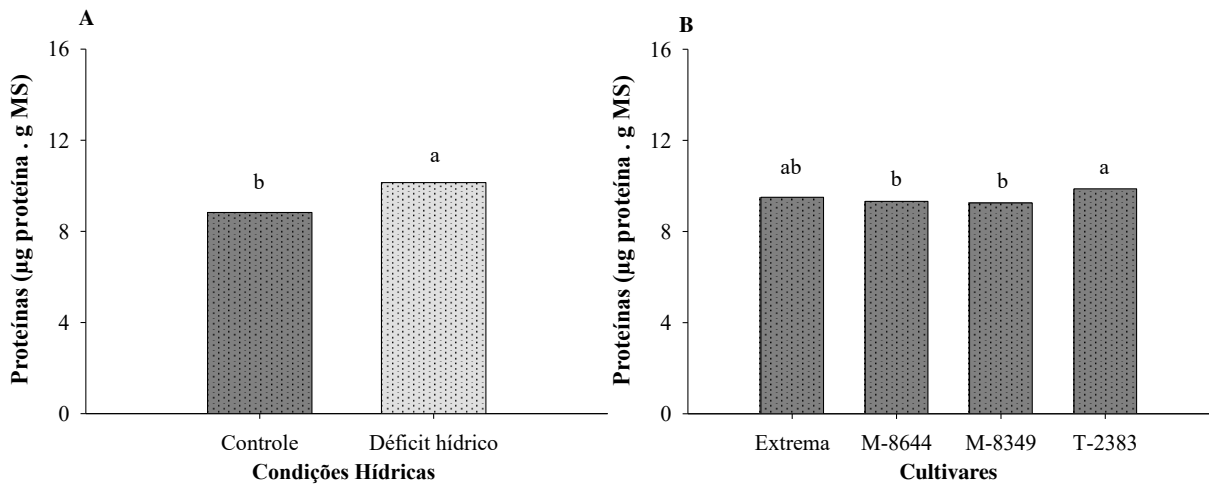


Figura 20. Efeito de duas condições hídricas nos teores de proteínas solúveis de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

O aumento de proteínas observado nas plantas submetidas ao estresse hídrico, quando comparadas aos tratamentos sem o déficit, pode caracterizar uma alteração no potencial osmótico da célula, para evitar a perda de água para o meio. Segundo Santos *et al.* (2010), trabalhando com a caracterização bioquímica em feijão-caupi submetido a estresse hídrico na pré-floração, revelou que a irrigação durante todo o ciclo da cultura (plantas sem estresse hídrico), comparado de plantas com deficiência hídrica na pré-floração, induziu maiores variações nos teores de proteínas solúveis em alguns genótipos. Graciano (2009) verificou para plantas de amendoim que a concentração dos solutos orgânicos das folhas e das raízes sofreu influência do déficit hídrico, aumentando em 150% a concentração de proteínas solúveis.

5.3. Atividade do sistema antioxidante

Para a análise de variância observada na Tabela 4, podemos verificar que o fator isolado irrigação apresentou respostas significativas para a atividade do sistema antioxidante de defesa, com exceção da SOD, enquanto que o fator isolado cultivares não foi significativo apenas para a atividade da APX e CAT. No que se refere a interação entre os fatores (I x C) apenas a atividade da CAT apresentou resposta significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4 - Análise de variância para as atividades das enzimas dismutase do superóxido (SOD), peroxidase do ascorbato (APX), catalase (CAT) e peroxidase do guaiacol (GPOD) de quatro cultivares de soja submetidas a dois regimes hídricos, Fortaleza - CE, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio			
		SOD	APX	CAT	GPOD
Irrigação	1	0,097 ns	20,72**	2508,71**	82,01**
Cultivares	3	0,16**	0,62 ns	186,90 ns	44,71**
Int. I x C	3	0,037 ns	3,40 ns	8,21*	2,50 ns
Resíduo	32	0,027	1,28	144,89	6,44
Total	39	-	-	-	-
CV (%)	-	24,92	8,08	23,14	25,48

*, ** = Significativo a 5% e a 1% pelo teste F, respectivamente e ns = não significativo.

Em relação à atividade da enzima SOD nas quatro cultivares estudadas foram observadas respostas semelhantes entre as cultivares Monsoy 8644 e Extrema IPRO, no entanto, esta última não diferiu estatisticamente das cultivares Monsoy 8349 e TMG 2383. Ao comparar a cultivar Monsoy 8644, que apresentou as maiores médias absolutas com a cultivar TMG 2383 podemos verificar uma diferença estatística de 33,14% (Figura 21A). Ao avaliar a atividade da enzima APX nas duas condições hídricas, verificou-se que as plantas em condições de déficit hídrico apresentaram médias superiores às plantas controle, verificando uma diferença de 9,76 % (Figura 21B).

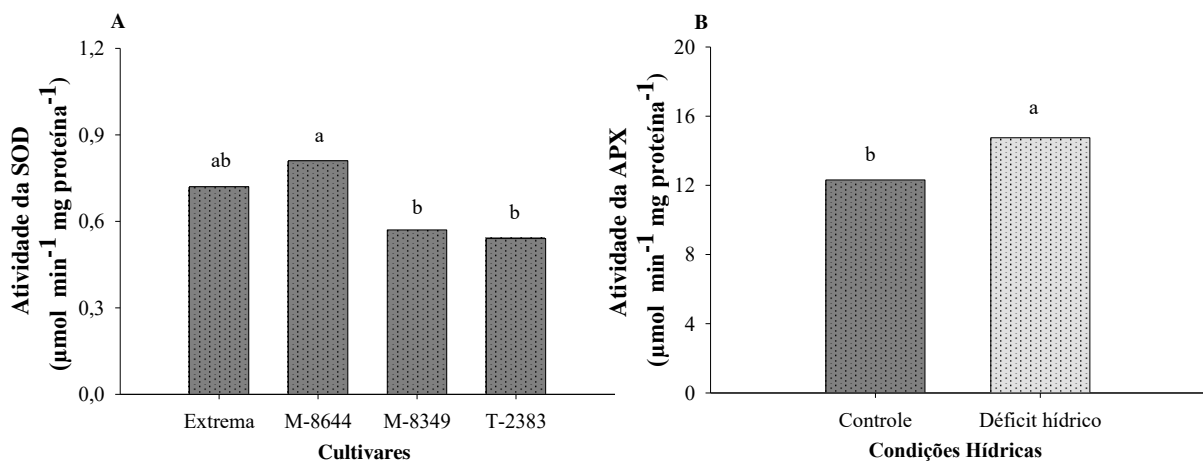


Figura 21. Atividade da enzima SOD em quatro cultivares de soja (A) e da APX sob o efeito de duas condições hídricas (B), Fortaleza - CE, 2021.

O estresse hídrico induz o estresse oxidativo em plantas, nas quais espécies reativas de oxigênio (ERO's) são produzidos (Munne-Bosch & Penuelas, 2003). Sendo assim, foram

avaliadas as enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT) e peroxidase do guaiacol (GPOD), que atuam como defesa primária das células contra os radicais livres superóxidos geradas sob condições de estresse. Então, as maiores médias dessas enzimas em determinada condição hídrica ou cultivar indicam uma maior ativação do sistema antioxidante.

De acordo com as observações, a atividade da enzima SOD foi aumentada em 33,14% na cultivar Monsoy 8349, em comparação com a cultivar TMG 2383. A maior atividade dessa enzima pode apresentar uma maior proteção nessa cultivar de soja contra o estresse oxidativo. Foi observado também um aumento na atividade da APX nas plantas que foram submetidas ao déficit hídrico, apresentando uma maior defesa pelas enzimas antioxidantes quando expostas ao estresse. Novello *et al.* (2020) trabalhando com Manjericão (*Ocimum basilicum* L.) encontrou resultados semelhantes para a atividade das enzimas quando essa espécie foi submetida ao estresse hídrico severo.

Para a atividade da enzima Catalase (Figura 22), verifica-se que, independente da cultivar, a atividade desta enzima foi superior quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico, aumentando sua expressão como consequência da baixa disponibilidade de água. Vale ressaltar ainda, que mesmo não apresentando diferença significativa, a cultivar TMG 2383 apresentou médias absolutas inferiores às demais cultivares, indicando certa sensibilidade ao déficit hídrico.

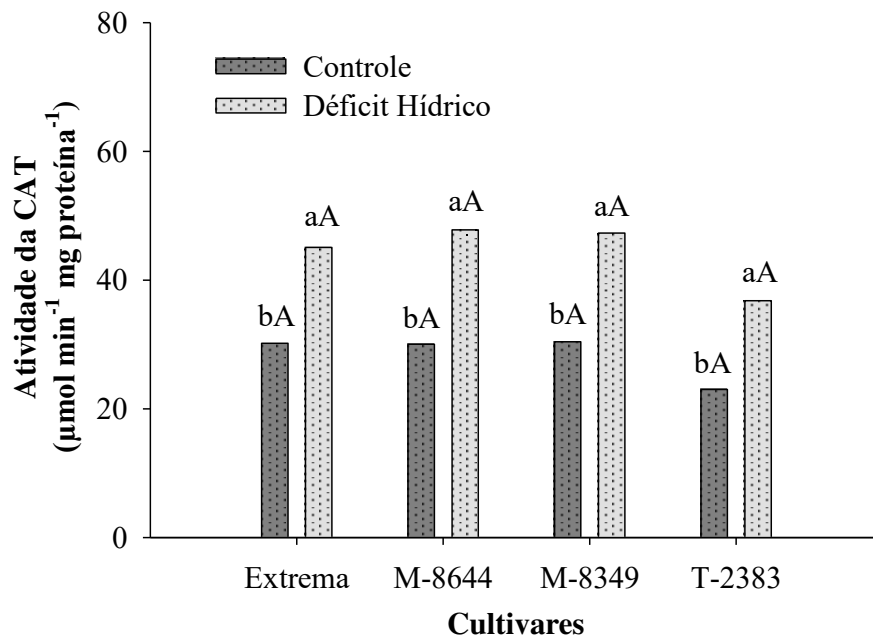


Figura 22. Atividade da enzima Catalase em quatro cultivares de soja submetidas à duas condições hídricas, Fortaleza - CE, 2021. *Letras minúscula são referentes às condições hídricas e maiúsculas às cultivares.

Assim como as enzimas já citadas (APX e SOD), a catalase (CAT) também vai agir no sistema antioxidante que atuam como defesa sob condições de estresse nas células contra os radicais livres superóxidos. No trabalho observa-se que a imposição de déficit hídrico provocou o aumento da atividade dessa enzima independente da cultivar. Semelhante ao presente trabalho, Akcay et al. (2010), analisando a atividade da CAT em Amendoim (*Arachis hypogaea* L.), também verificaram aumentos acentuados da enzima em condições de estresse hídrico.

Ao avaliar o efeito de duas condições hídricas na atividade da enzima GPOD verificou-se que as plantas em condições de déficit hídrico apresentaram médias superiores às plantas controle, verificando uma diferença de 40,97 % (Figura 23A). Em relação as cultivares estudadas, observou-se que a Extrema IPRO, Monsoy 8644 e TMG 2383 apresentaram médias estatisticamente iguais, no entanto, esta última não diferiu estatisticamente da cultivar Monsoy 8349. Ao comparar a cultivar Extrema IPRO, que apresentou as maiores médias absolutas com a cultivar Monsoy 8349 podemos verificar uma diferença estatística de 64,21% (Figura 23B).

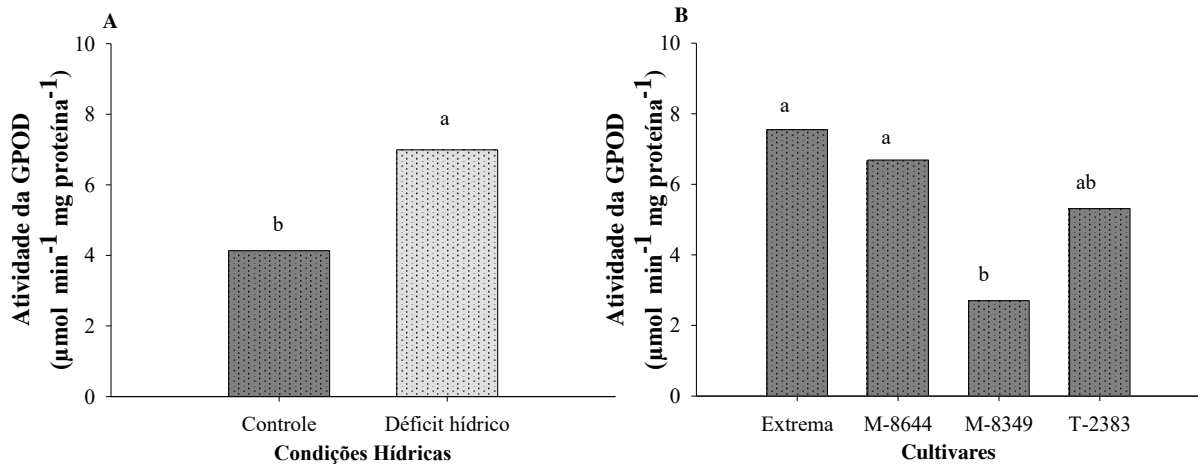


Figura 23. Efeito de duas condições hídricas na atividade da GPOD de quatro cultivares de soja (A e B), Fortaleza - CE, 2021.

Para lidar com ERO's, as plantas são dotadas de um complexo sistema antioxidante enzimático incluindo SOD, que catalisa a reação de O_2 para H_2O_2 ; CAT e APX detoxificam a produção de H_2O_2 (ASADA, 1999; MITTLER, 2002). A enzima G-POD, assim como as enzimas CAT e APX vai agir da mesma maneira, a fim de diminuir os efeitos citotóxicos na planta. Ao analisarmos a atividade da G-POD em plantas submetidas ao déficit hídrico podemos observar o aumento dessa atividade em relação as plantas controle. Resultados semelhantes foram encontrados por Nunes Junior *et al.* (2017) avaliando a atividade da G-POD nas folhas das plantas de girassol.

6. CONCLUSÕES

O déficit hídrico é desfavorável para a taxa de crescimento e razões de massas nas plantas de soja, independente da cultivar.

As cultivares de soja submetidas ao déficit hídrico elevaram a quantidade dos solutos orgânicos como estratégia de defesa ao DH, com destaque para as cultivares Extrema IPRO e Monsoy 8644.

A cultivares Extrema IPRO e TMG 2383 sob condições de estresse hídrico apresentaram as maiores atividades do sistema antioxidante, além de uma maior produção de solutos orgânicos, regulação do crescimento e investimento radicular, indicando maior tolerância ao DH em relação às demais cultivares.

REFERÊNCIAS

AKCAY, U. C.; ERCAN, O.; KAVAS, M.; YILDIZ, L.; YLMAZ, C.; OKTEM, H. A.; YUCEL, M. Drought-induced oxidative damage and antioxidant responses in peanut (*Arachis hygaeae* L.) seedling. **Plant Growth Regulation**, v. 61, p. 21-28, 2010.

AKITHA, D. M. K.; GIRIDHAR, P.; Variations in physiological response, lipid peroxidation, antioxidant enzyme activities, proline and isoflavones content in soybean varieties subjected to drought stress. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. 85, 35-44, 2015.

ALVES, P. R.; LUCENA, E. M. P.; BONILLA, O. H.; MARQUES, E. C.; GOMES-FILHO, E.; COSTA, C. S. B. Solutos orgânicos e inorgânicos em *Salicornia neei* Lag. sob lâminas de irrigação e adubação no semiárido cearense. **Revista Verde**, v. 15, n.4, p.360-367, 2020.

ARAÚJO JUNIOR, B. B.; SILVA, P. S. L.; MORAIS, P. L. D.; DOMBROSKI, J. L. D.; OLIVEIRA, V. R. Crescimento do milho com controle de plantas daninhas via consorciação com gliricídia. **Planta Daninha**. 30. p. 757-766, 2012.

ASADA, K. The water–water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v. 50, p. 601-639, 1999.

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C., Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciências Agrárias**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BASTOS, K. V. L. S.; MELIS, J. V.; PEDROSO, A. N. V.; SANTOS, A. L.; MENOLLI, N. Determinação da área foliar específica de diferentes espécies de três fitofisionomias do Pantanal Sul. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.15, n.3, p. 695-712, 2019.

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

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**. v. 287, p. 276–287, 1971.

BENICASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal. FUNEP. 2004. 42p.

BEZERRA, A. R. G.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SOARES, M. M. **Soja: do plantio à colheita**. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 333p.

BORDINGNON, J.R. & MANDARINO, J.M.G. **Soja: composição química, valor nutricional e sabor**. Londrina: EMBRAPA- CNPSo, 1994. 32p (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 70).

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

BROETTO, F.; GOMES, E. R.; JOCA, T. A. C. O estresse das plantas: teoria & pratica. São Paulo: **Cultura Acadêmica- Editora UNESP**, 2017.

CASTRO, L.S.; MIRANDA, M. H.; LIMA, J. E. Indicadores sociais de desenvolvimento e a produção de soja: uma análise multivariada nos 150 maiores municípios produtores brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 11, n. 1, p. 69 – 87, 2015.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento safra de grãos**. v.8 – Safra 2020/21, n. 9 – Nono levantamento, Brasília, p. 1-121, junho 2021.

CORDEIRO, Y. E. M.; PINHEIRO, H. A.; Filho, B. G. S.; CORREA, S. S.; SILVA, J. R. R. E.; FILHO, M. B. D. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest ecology and management**, v. 258, p. 1449-1455, 2009.

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

DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F.; PAIM, L. R.; SCALON, S. P. Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n. 1, 2012, pp. 2657-2667.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011**. [S.l.]: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 255 p.

FAQUIN, V.; VALE, F. R.; FURTINI NETO, A. E. **Cultivo de plantas em ambiente controlado: solução nutritiva, hidroponia e em vasos com solo**. Lavras: UFLA, 2008. 177p

FARIAS, J. R. B.; NEPONUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Relatório Técnico, 48).

FARIAS, V.D.S; LIMA, M.J.A; NUNES, H.G.C.C.; SOUSA, D.P.; SOUZA, P.JO.P; water demand, crop coefficient and uncoupling factor of cowpea in the eastern amazon. **Revista Caatinga**, 30(1), 190-200, 2017.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no Mato Grosso. **Revista Nativa**, v.3, n.1, p.67-77, 2015.

FERREIRA, A. L.; ARAGÃO, A. S. L.; SILVA, A. F.; PEREIRA, L. G. R.; MORAES, S. A.; ARAÚJO, G. G. L.; BRAGA, L. G. T. Valor nutritivo da parte aérea da mandioca, maniçoba e pornunça. **46ª Reunião Anual da Sociedade brasileira de Zootecnia.**, Maringá, Pr – UEM- jul/2009.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.48, p.909- 930, 2010.

GONÇALVES, J. G. R. **Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca**. 2013. 82f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2013.

GOUVEIA, A. B. V. S. et al. Subprodutos da soja na alimentação de aves: Revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-28, 2020.

GRACIANO, E. S. A. **Estudos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetidas à deficiência hídrica**. 2009. 68f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

HAVIR, E.; McHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalases in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987.

HOSSAIN, M. M.; LIU, X.; QI, X.; LAN, H. M.; ZHANG, J. Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. **Crop Journal**, 2, 366-380, 2014.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Economic Botany**, v. 24, n. 4, p. 408-421, 1970.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture & Biology**. [S.L], v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009.

KAR M.; MISHRA D. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, n. 02, p. 315- 319, 1976.

LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. Classificação e aptidão agrícola dos solos do Campo Experimental de Pacajus, Ceará, para a fruticultura. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. p.20. (**Documentos, 53**).

LIMA, M. A. Respostas fisiológicas e bioquímicas de dois clones de cajueiro anão precoce submetidos aos cultivos irrigados e não irrigado. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MATIKA, D. E. F.; LOAKE, G. J. Redox Regulation in Plant Immune Function. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 21, n. 9, p. 1373–1388, 2013.

MATSUO, E.; FERREIRA, S. C.; SEDIYAMA, T. **Soja: do plantio à colheita**. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 333p.

MENESES, C. H. S. G.; LIMA, L. H. G. M.; LIMA, M. M. A.; VIDAL, M. S. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n. 2, p. 1039-1072, 2006.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**. v.7, p. 405-410, 2002.

MULLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. 1. ed. [S.1.]: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. P. 65-104.

MUNNE-BOSCH, S.; PENUELAS, J. Photo-and antioxidative protection, and a role for salicylic acid during drought and recovery in field-grown *Phillyrea angustifolia* plants. **Planta**. v.217, n.5, p. 758-756, 2003.

NAKANO, Y.; ASADA, K., Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts, **Plant & Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

NELSON, N. A photometric adaptation of Somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biologic Chemistry**, Bethesda, Md, v. 153, n. 2, p. 375-380, Feb. 1960.

NOBRE, R. G. *et al.* Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 76–85, 2013.

NOGUEIRA, O. P. A. *et al.* Morfologia, crescimento e desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenas, 2009.

NOVELLO, P. F. A. M.; BONACINA, C.; STRACIERI, J.; CAMPOS, C. F. A. A.; GONÇALVES, J. E.; GAZIM, Z. C.; SOUZA, S. G. H. O déficit hídrico altera o crescimento, metabolismo oxidativo e biossíntese de fenilpropanóides em *Ocimum basilicum* L. **Research, Society and Development**, v.9, n.11, 74591110590, 2020.

NUNES JUNIOR, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B.; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. **Revista Ambiente e Água**. v.12, n.1, p.72-86, 2017.

OLIVEIRA, L. K. B. **Tolerância de cultivares de Feijão-caupi ao déficit hídrico na fase germinativa: alterações fisiológicas, bioquímicas e citoquímicas**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

PALARETTI, L. F.; DALRI, A. B.; FARIA, R. T.; DANTAS, G. F.; SANTOS, M. G. Crescimento do feijoeiro cultivado com e sem estresse hídrico. **III Inovagri International Meeting**. Fortaleza-a183, 2015.

PEIXOTO, C. P.; **Princípios de fisiologia vegetal: teoria e prática**. 1. Ed. Rio de Janeiro, 2020.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e prática. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**. p. 51-76, 2011.

PEREIRA, J. W. L.; MELO FILHO, P. A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit Hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 766-773, out-dez, 2012.

PEREIRA JÚNIOR, P.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K.; CORRÊA, L. V. T.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e Agrotecnologia**., v. 34, n. 4, p. 908-913, jul. /ago., 2010.

PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GREYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade**. p.143-159, 2010.

RAHNAMA, A. A screening method to identify genetic variation in root growth responses to a salinity gradient. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 69–77, 2011.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas** – mensuração do crescimento. Belém, CPATU, 1978. 35p.

RESENDE, M.L. V.; SALGADO, S. M. L.; CHAVES, Z. M. Espécies ativas de oxigênio na resposta de defesa de plantas a patógenos. **Fitopatologia Brasileira**, 28(2), 123-130, 2003.

RICH, S. M.; WATT, M. Soil conditions and cereal root system architecture: review and considerations for linking Darwin and Weaver. **Journal Experimental Botany**. v.64, p. 1193 –1208, 2013.

SANTOS, C. F.; LIMA, G. P. P.; MORGADO, L. B.; Tolerância e caracterização bioquímica em feijão-caupi submetido a estresse hídrico na pré-floração. **Naturalia**, v. 33, p. 34-44, 2010.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 21, m. 4, p. 655-662, out.-dez., 2011.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. Origem, evolução e importância econômica. In: SEDIYAMA, T. (Ed.) **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenas, 2009. p. 1-5.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. Cultivares. In: SEDIYAMA, T. (Ed.) **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenas, 2009. p. 77-91.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. P. 551-603.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. **Cultura da soja** – Parte I. Viçosa, MG: Impr. Univer., UFV, 1985. 96 p.

SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 333p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 858 p.

VIEIRA, F. C. F.; SANTOS JUNIOR, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O.; DIAS, A. C. C.; HAMAWAKI, O. T.; BONETTI, A. M. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 600. **Bioscience Journal**., v. 29, n. 2, p. 543-552, mar. /abr.2013.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acid with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-214, 1955.