

**A APLICAÇÃO FOLIAR DE MELAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PODE ALIVIAR  
CONDIÇÕES ESTRESSANTES EM GLYCINE MAX (L.) MERR. COLHEITA EM  
CONDIÇÕES DE CAMPO**



<https://doi.org/10.56238/arev7n1-038>

**Data de submissão:** 03/12/2024

**Data de publicação:** 03/01/2025

**Agna dos Santos Moreira**

Estudante de graduação  
Universidade Estadual da Região do Tocantina do Maranhão

**Mateus Dias Duarte**

Estudante de graduação  
Universidade Estadual da Região do Tocantina do Maranhão

**Joyce de Sousa Cordeiro**

Estudante de graduação  
Universidade Estadual da Região do Tocantina do Maranhão

**Ana Larissa Pereira da Silva**

Graduada  
Universidade Estadual do Maranhão

**Nahor Daniel Ribeiro Diniz**

Graduado  
Universidade Estadual do Maranhão

**Wallace de Paula Bernado**

Mestre  
Universidade Estadual do Norte Fluminense

**Tiago Cunha Rocha**

PhD  
Universidade Estadual da Região do Tocantina do Maranhão

**Járisson Cavalcante Nunes**

PhD  
Universidade Estadual da Região do Tocantina do Maranhão

**Tiago Massi Ferraz**

PhD  
Universidade Estadual do Maranhão

**Fabício de Oliveira Reis**

PhD  
Universidade Estadual do Maranhão

**Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis Figueiredo**

PhD

Universidade Estadual do Maranhão

**Eliemar Campostrini**

PhD

Universidade Estadual do Norte Fluminense

**José Cochicho Ramalho**

PhD

Universidade de Lisboa e Universidade NOVA de Lisboa

**Weverton Pereira Rodrigues**

PhD

Universidade de Lisboa e Universidade NOVA de Lisboa

---

## RESUMO

O objetivo do presente estudo foi investigar os efeitos da aplicação de melaço de cana-de-açúcar aos 2 dias (D2) e 7 dias (D7) após a precipitação após um período de estresse hídrico sobre alguns parâmetros fisiológicos, de crescimento e produtividade da soja em condições de campo. O experimento foi montado para obter 14 plantas por metro de linha, e considerou dois tratamentos: aplicação de melaço aos 2 dias (D2) e 7 dias (D7) após a precipitação, após cerca de 1 mês sem chuva. Vinte dias após a segunda aplicação, foram realizadas medidas termográficas e de fluorescência da clorofila a no estágio reprodutivo (R5 - preenchimento precoce das sementes). As medições foram realizadas entre 12:00 e 14:00, representando as horas mais quentes do dia, em folhas totalmente expandidas. Além disso, as medições de crescimento e rendimento das plantas foram feitas das mesmas plantas no estágio reprodutivo R7. A parcela tratada com a aplicação de melaço de cana-de-açúcar em D2 apresentou aumento de produtividade (ca. 58%) devido à maior condutância estomática refletida pelas condições térmicas de estresse hídrico e índice de condutância estomática relativa.

**Palavras-chave:** Estresse abiótico. Alívio. Subproduto. Sustentabilidade.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a população global se aproximando de 10.000 milhões até 2050, espera-se que a demanda por alimentos e energia aumente muito (Fróna *et al.* 2019; Pais *et al.* 2020) com a necessidade de aumentar muito a produção global de alimentos em cerca de 60-70% (Powell *et al.*, 2012; FAO, 2016). Estima-se que o trigo, o arroz, o milho e a soja forneçam cerca de 2/3 da ingestão calórica global humana (Zhao *et al.* 2017), com a soja contribuindo principalmente por ser incorporada à alimentação animal (com alto valor proteico) e por meio do óleo de soja refinado (Fischer *et al.* 2014).

Além do crescimento populacional, as mudanças climáticas (CC) amplificam os desafios contemporâneos de garantir a segurança alimentar. De fato, as projeções indicam que as concentrações podem exceder 1.000  $\mu\text{L CO}_2 \text{ L}^{-1}$  até 2100, potencialmente elevando as temperaturas globais em até 5,7 °C na pior estimativa (IPCC, 2023). Espera-se também que esse aumento intensifique a frequência de eventos climáticos extremos, incluindo ondas de calor, secas prolongadas e chuvas fortes (IPCC 2023). Prevê-se que esse CC, particularmente o aumento das temperaturas e as secas, reduza o rendimento das colheitas globalmente (Gupta *et al.* 2020).

A produção global de soja para a campanha de comercialização 2022/2023 foi de aproximadamente 378,6 milhões de toneladas (USDA 2024), enquanto na safra 2023/2024, o Brasil produziu aproximadamente 147 milhões de toneladas, com uma média de 3.202 kg produzidos por hectare em 46 milhões de hectares (CONAB 2024). No entanto, a soja é considerada bastante vulnerável a condições cada vez mais estressantes do CC, especialmente a seca (Arya *et al.* 2021) e calor, com redução da produtividade global de 3,1% (em média) por cada aumento de °C, embora com um impacto mais forte de 6,8% nos Estados Unidos (Zhao *et al.*, 2017). Nesse contexto de CC, estamos enfrentando um desafio complexo em relação à necessidade de aumentar a produção de alimentos para acompanhar o aumento da demanda de alimentos de uma população crescente, sob condições climáticas cada vez piores que podem ameaçar a segurança alimentar, a menos que estratégias eficazes sejam adotadas (Diffenbaugh e Burke 2019; Pais *et al.* 2020).

Um estudo recente sugeriu que os pontos de carbono endógenos de origem alimentar derivados do melaço de beterraba sacarina podem ajudar a mitigar os impactos negativos do estresse hídrico (Kara *et al.* 2023). Portanto, este tipo de práticas de manejo, pode oferecer resiliência adicional contra o estresse abiótico, embora tal estratégia ainda não tenha sido estudada na cultura da soja, nomeadamente pelo uso de melaço de cana-de-açúcar, que é rico em diversos nutrientes e compostos orgânicos, além de ser barato por ser um subproduto da produção de açúcar. Tais estratégias requerem uma compreensão abrangente das respostas fisiológicas das plantas, a fim de determinar o momento ideal para a aplicação, dependendo da duração e intensidade do estresse hídrico.

Várias técnicas são empregadas para medir características fisiológicas diretas, como fotossíntese e condutância estomática, mas muitas vezes são demoradas, limitando seu uso para estudar um número substancial de genótipos em condições de campo. Além disso, o custo relativamente alto desses instrumentos restringe a acessibilidade (Zia *et al.* 2013). Conseqüentemente, o uso de ferramentas que podem refletir indiretamente mudanças fisiológicas tem crescido acentuadamente, dada sua acessibilidade e rápida coleta de dados, o que facilita sua aplicação a um maior número de genótipos em condições de campo (Galiene *et al.* 2021). A utilização de várias medições de emissão de fluorescência de clorofila *a* permite a detecção rápida e não invasiva de danos potenciais à maquinaria fotoquímica causados por fatores de estresse abióticos (Kalaji *et al.* 2016). Além da fluorescência da clorofila *a*, a análise de imagens térmicas é amplamente reconhecida para avaliar o estado de estresse da planta, devido à forte correlação entre a temperatura da folha e os fluxos de CO<sub>2</sub> e vapor d'água, ambos regulados pela condutância estomática (Sirault *et al.* 2009; Gutierrez *et al.* 2018). Portanto, essa ferramenta é atualmente utilizada para estimativas precisas de biomassa e produtividade (García-Tejero *et al.* 2017). Além disso, a imagem térmica permite a avaliação/integração em escala de dossel, com vantagens sobre as medições em escala de folha única (García-Tejero *et al.* 2017). Em termos de estresses abióticos, prevê-se um aumento na frequência de eventos de déficit de pressão de vapor (VPD) devido ao aquecimento atmosférico e à redução da umidade relativa. Este cenário de "seca atmosférica" pode, dependendo da capacidade hidráulica da planta, resultar em estresse hídrico mesmo quando a umidade do solo ainda está dentro de uma faixa suficiente (Gilbert *et al.* 2011; Sinclair 2017; Kunert e Vorster 2020).

Este estudo levantou a hipótese de que a aplicação de uma pulverização foliar de melão de cana-de-açúcar logo após um período (*cerca* de 1 mês) de ausência de chuva poderia ajudar as plantas de soja a se recuperarem do potencial déficit hídrico, mantendo uma produtividade satisfatória. Portanto, a pesquisa teve como objetivo examinar a eficácia do melão de cana-de-açúcar como uma ferramenta potencial para aliviar o estresse abiótico no cultivo de soja em condições comerciais de campo.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

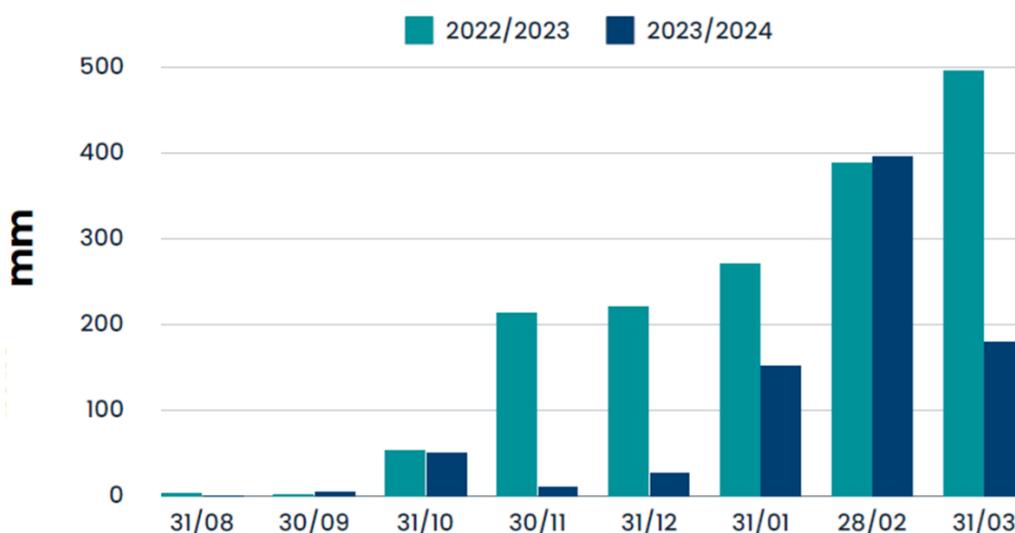
### **2.1 MATERIAL VEGETAL E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL**

O experimento foi conduzido com plantas IPRO de *Glycine max* (L.) Merr. cv. Brasmax Olimpo, em Itinga, Maranhão (longitude 47°06'48"W e latitude -6°16'23"S). O clima local é do tipo 'Aw' pela classificação de Köppen, com temperatura média anual *de cerca* de 27,1°C, precipitação anual de 1.672 mm e 204,65 m.s.n.m. (Alvares *et al.* 2013). A semeadura foi realizada em 26 de

dezembro de 2023, em Latossolo Amarelo Distrófico. O preparo do solo e o manejo da cultura foram implementados seguindo as práticas recomendadas na literatura relevante, enquanto a fertilização foi orientada pela análise do solo para atender às necessidades nutricionais da cultura. A densidade de sementes foi calculada com base nas taxas de germinação para atingir uma meta de 14 plantas por metro de linha, com essas linhas espaçadas de 0,50 m.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com dois tratamentos envolvendo aplicações foliares de melaço de cana-de-açúcar aos 2 dias (D2) ou 7 dias (D7) pós-precipitação, com quatro repetições. Cada bloco foi composto por oito fileiras de 9 m de comprimento, com coleta de dados focada nas quatro fileiras centrais de três plantas cada, utilizando, assim, um total de 48 plantas por tratamento. Pulverizações foliares de melaço (1 L ha<sup>-1</sup>) foram aplicadas após um período de 28 dias sem chuvas (Figura 1). A primeira aplicação foi realizada em 5 de fevereiro (42 dias após a semeadura - DAS), e a segunda aplicação em 10 de fevereiro (47 DAS), ambas no estágio vegetativo V6, utilizando pulverizador autopropelido. Vinte dias após a segunda aplicação (66 DAS), as medidas fisiológicas descritas a seguir foram realizadas no estágio reprodutivo R5.4. As medidas de crescimento e produtividade foram realizadas durante o estágio reprodutivo R7 (108 DAS), representando a maturidade fisiológica do feijoeiro no final do ciclo de vida da cultura.

Figura 1 - Precipitação no sítio experimental em Itinga, Maranhão, durante as safras 2022/2023 e 2023/2024. Embora janeiro da safra 2023/2024 tenha recebido aproximadamente 145,6 mm de chuva, esse volume ocorreu nos primeiros cinco dias do mês. De 6 de janeiro a 2 de fevereiro, não houve registro de chuva. No dia 3 de fevereiro, foram observados 76,1 mm de precipitação, seguidos de 38 mm no dia 4 de fevereiro, com a primeira aplicação realizada no dia 5 de fevereiro.



## 2.2 ANÁLISE DE IMAGENS TÉRMICAS

No estágio reprodutivo R5.4, as imagens térmicas foram capturadas usando uma câmera infravermelha Flir E8-XT (Flir Systems, EUA) com a emissividade da câmera definida em 0,96. Este

detector de matriz de plano focal produziu imagens com resolução de 320 x 240 pixels (76.800 pixels) e precisão de  $\pm 2\%$ . Para cada medição, a câmera foi posicionada aproximadamente 0,50 m acima das plantas. As imagens foram armazenadas na memória do dispositivo, e o software FLIR Tools versão 5.12.17023.2001, Copyright® 2015 FLIR, foi utilizado para o processamento das imagens. A temperatura foliar (LT) foi medida para obter o Índice de Estresse Hídrico da Cultura (CWSI) de acordo com Jones (1999):

$$CWSI = \frac{T_{canopy} - T_{wet}}{T_{dry} - T_{wet}} \quad (\text{Equação 1})$$

Um índice alternativo baseado em um rearranjo da equação do balanço de energia, o índice de condutância estomática relativa térmica (IG), também foi usado seguindo Jones (1999):

$$IG = \frac{T_{dry} - T_{canopy}}{T_{canopy} - T_{wet}} \quad (\text{Equação 2})$$

onde  $T_{canopy}$  é a temperatura representativa das folhas da planta,  $T_{dry}$  é a temperatura de uma folha com a superfície abaxial revestida com vaselina (representando a tensão máxima, com estômatos fechados) e  $T_{wet}$  é a temperatura de uma folha com a superfície adaxial pulverizada com água (representando a transpiração máxima, com estômatos totalmente abertos). Para a estimativa do índice, foi selecionada uma planta por repetição, onde um folíolo recebeu vaselina para mimetizar as condições de estresse máximo, enquanto outro folíolo na mesma folha foi pulverizado com água para representar a transpiração máxima Rodrigues *et al.* (2024).

### 2.3 MEDIÇÕES DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A E LEITURAS SPAD

No estágio reprodutivo R5.4, as variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram medidas usando um fluorímetro de luz não modulado, modelo Pocket Pea (Plant Efficiency Analyzer, Hansatech, King's Lynn, Reino Unido). Antes de cada medição, as folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos usando grampos de folhas para garantir que os centros de reação estivessem abertos (com quinona A (QA) no estado oxidado). Após esse período de adaptação ao escuro, a fluorescência foi induzida por um pulso de luz vermelha (650 nm) a uma intensidade de  $3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , fornecida por LEDs localizados na sonda do dispositivo. Dentre os parâmetros avaliados, F0 reflete a emissão de clorofila *a* dentro do complexo de antenas do PSII a 50 ms, representando o nível mínimo de fluorescência em folhas adaptadas ao escuro (fluorescência inicial). Fm corresponde à fluorescência máxima alcançada sob intensidade de luz contínua, representando o pico de fluorescência em folhas

adaptadas ao escuro. Fv, calculado como a diferença entre Fm e F0, indica o potencial máximo de extinção fotoquímica, que ocorre dentro de 200 a 300 ms após a transição da exposição escura para a luz em material fotossintético. A partir dos parâmetros anteriores, foram estimados o rendimento quântico basal de processos não fotoquímicos (F0/Fm), o rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), a eficiência máxima do processo fotoquímico no fotossistema II (F0/Fv) (Strasser *et al.* 2004).

O Índice de Desempenho (PI), uma métrica altamente sensível para avaliar os efeitos das mudanças induzidas pelo estresse na atividade do PSII (Kalaji *et al.* 2016), foi determinado por meio da fórmula:  $PI = (1 - (F0/Fm)) / M0 \times (Fm - F0) / F0 \times (1 - Vj) / Vj$ . Nesse contexto, Vj representa a fluorescência variável relativa em 2 ms, calculada como  $Vj = (Fj - F0) / (Fm - F0)$ , onde Fj é a intensidade de fluorescência no passo J (2 ms). M0, a inclinação inicial da cinética de fluorescência, foi derivada usando a equação  $M0 = 4 \times (F300\text{ ms} - F0) / (Fm - F0)$ .

Também no estágio reprodutivo R5, a leitura SPAD foi realizada nas folhas marcadas anteriormente usadas para medições de fluorescência de clorofila a e, ao mesmo tempo, usando um medidor de clorofila SPAD-502 (Minolta Co. Ltd., Osaka, Japão). A média de doze leituras SPAD (quatro pontos em cada folíolo) foi registrada para cada folha.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES DE CRESCIMENTO E RENDIMENTO

No estágio reprodutivo R7 (108 DAS), a altura da planta foi registrada por meio de régua graduada e a área foliar (AF) foi calculada com base na largura e comprimento do folíolo primário, seguindo a metodologia de Richter *et al.* (2014). O índice de área foliar (IAF) das plantas de soja foi determinado por meio da seguinte equação (Montgomery, 1911):

$$LAI = \frac{\text{Leaf area per plant} \times \text{plant number per plot}}{\text{Plot area}} \quad (\text{Equação 3})$$

No campo, foram obtidos o número de nós por planta (PNN) e o número de vagens por planta (NPP), o número de feijões por planta (NB) e o número de feijões por vagem (NBP). Após a colheita manual, os grãos foram secos em estufa a 70 °C até atingirem um teor de umidade estável de 13% (*ca.* 72 h). Foram obtidas a massa de feijão por planta (BMP) e a produtividade de feijão ( $\text{Kg}^{\text{ha}^{-1}}$ ).

## 2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com quatro parcelas e doze plantas por parcela, o experimento foi estruturado em delineamento de blocos casualizados. Os dados foram analisados por meio de uma ANOVA one-way com nível de

significância de 5%. Correlações fenotípicas entre as variáveis também foram estimadas. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software R (R Core Team, 2021, <https://www.r-project.org/>), empregando os pacotes 'corrplot' e 'Hmisc'.

### 3 RESULTADOS

Os resultados não revelaram diferenças significativas no IAF entre os tratamentos D2 e D7, embora tenha havido uma tendência de valores mais elevados para o D2 (Figura 2). No entanto, NNP, NPP, NB e NBP apresentaram diferenças significativas, com o uso de melação de cana-de-açúcar no D2 resultando nos maiores valores em relação ao tratamento D7. Os maiores valores dos componentes de rendimento nas plantas D2 resultaram em maior produtividade substancial para esse tratamento (ca. 58%) (Tabela 1).

Figura 2 - Índice de área foliar, IAF de *G. max* cv. Plantas de IPRO Brasmax Olimpo pulverizadas com melação de cana-de-açúcar aos 2 (D2) e 7 (D7) dias após o início da precipitação após um período de 28 dias sem chuva, 66 dias após a semeadura (DAS) Para cada variável, os valores médios  $\pm$  SE (n = 4 plantas) seguido de NS indicam que não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos ao nível de confiança de 5%.

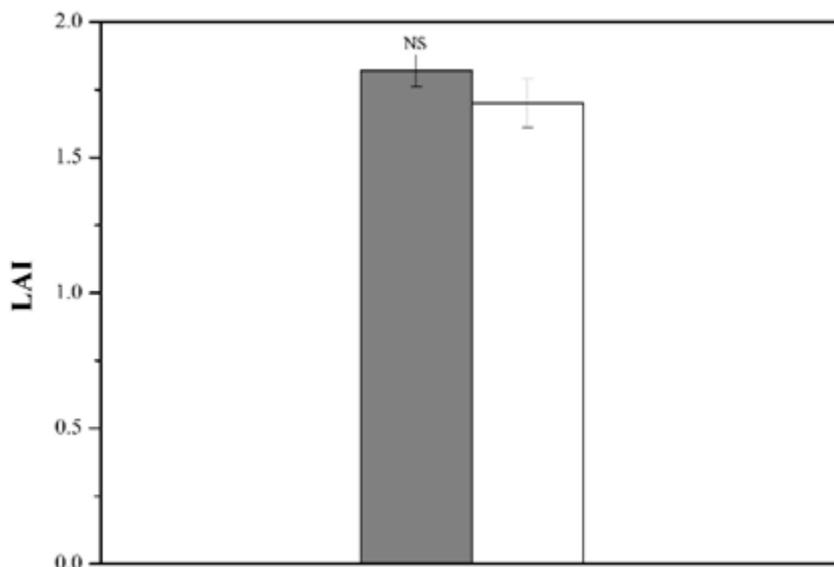


Tabela 1. Número de nós por planta (PNN), número de vagens por planta (NPP), número de feijões por planta (NB), número de feijões por vagem (NBP) e produtividade de feijão de *G. max* cv. Brasmax Olimpo IPRO pulverizado com melaço de cana-de-açúcar aos 2 (D2) e 7 (D7) dias após o início da precipitação após um período de 28 dias sem chuva. As medições foram feitas a 108 DAS.

Variáveis	D2	D7
PNN	14,50 ± 0,16*	11,96 ± 0,91
NPP	45,14 ± 2,72 *	34,25 ± 0,73
NB	111,94 ± 5,22*	77,31 ± 1,31
NBP	2,49 ± 0,06 *	2,27 ± 0,01
Produtividade (Kg ha <sup>-1</sup> )	6.555,11 ± 301,82 *	4.138,34 ± 161,05

Para cada parâmetro, os valores médios ± SE (n = 4) seguidos de \* indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos a um nível de confiança de 5%.

Em relação aos valores observados por 66 DAS ao nível foliar, o LT foi semelhante entre os tratamentos, mas os valores de IG e SPAD apresentaram valores cerca de 55% e 7% maiores, respectivamente, no D2 em relação ao D7. De acordo com o GI, o IPCC foi maior (ca. 31%) para D7. Dentre as avaliações de eficiência de captação de energia luminosa não houve diferenças significativas entre os tratamentos para F0 e PI. No entanto, F0/Fm foi maior em D2, enquanto Fv/F0 e Fv/Fm foram maiores em D7 (Tabela 2).

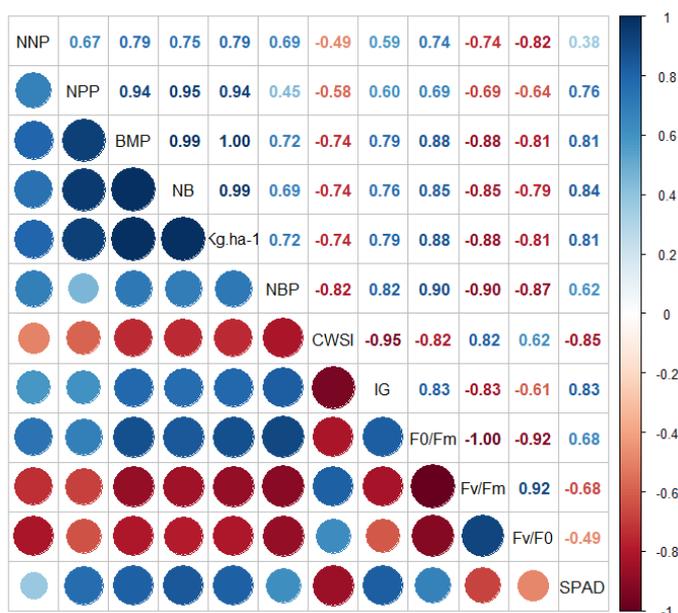
Tabela 2. Temperatura foliar (LT), índice de estresse hídrico da cultura (CWSI), índice de condutância estomática relativa térmica (IG), fluorescência inicial (F0), rendimento quântico basal de processos não fotoquímicos (F0/Fm), rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), eficiência máxima do processo fotoquímico no fotossistema II (F0/Fv) e Índice de Desempenho (PI), de *G. max* cv. Brasmax Olimpo IPRO pulverizado com melaço de cana-de-açúcar aos 2 (D2) e 7 (D7) dias após o início da precipitação após um período de 28 dias sem chuva. As medições foram feitas a 66 DAS.

Variáveis	D2	D7
TENENTE	29,13 ± 0,13ns	28,58 ± 0,18
CWSI	0,26 ± 0,007*	0,38 ± 0,02
IG	3,97 ± 0,26*	1,77 ± 0,17
F0	6926,48 ± 217,19 <sup>ns</sup>	6374,60 ± 103,13
F0/FM	0,21 ± 0,002*	0,19 ± 0,002
Fv/Fm	0,78 ± 0,002*	0,81 ± 0,002
Fv/F0	3,79 ± 0,10*	4,21 ± 0,06
PI	3,42 ± 0,15 <sup>ns</sup>	4,26 ± 0,30
SPAD	44,98 ± 0,44*	42,15 ± 0,56

Para cada parâmetro, os valores médios ± SE (n = 4) seguidos de \* ou ns indicam diferenças estatísticas e nenhuma diferença estatística entre os tratamentos, respectivamente, a um nível de probabilidade de 5%.

Para explorar profundamente nossos dados, foi realizada uma correlação fenotípica entre as variáveis, de modo que o NNP apresentou correlação positiva com outros componentes de produtividade, principalmente com BMP e produtividade de feijão ( $r^2 = 0,79$ ). O NPP demonstrou fortes correlações positivas com BMP, NB e rendimento de ben (Figura 3). Por outro lado, CWSI, Fv/Fm e Fv/F0 tiveram correlações negativas com os componentes de rendimento, principalmente NBP ( $r^2 = -0,82, -0,90$  e  $-0,87$ , respectivamente). Além disso, IG, leitura SPAD e F0/Fm demonstraram correlações positivas com a variação dos componentes de produtividade BMP, NB e produtividade de feijão (Figura 3).

Figura 3 - Estimativas de correlação fenotípica entre caracteres medidos em *plantas de IPRO G. max* cv. Brasmax Olimpo pulverizadas com melaço de cana-de-açúcar aos 2 (D2) e 7 (D7) dias após o início da precipitação após um período de 28 dias sem chuva. Os caracteres (apenas aqueles que apresentaram diferenças significativas) avaliados foram número de nós por planta (NNP), número de vagens por planta (NPP), número de feijões por planta (NB), número de feijões por vagem (NBP), massa de feijão por planta (BMP), produtividade de feijão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), índice de estresse hídrico da cultura (CWSI), índice de condutância estomática relativa térmica (Ig), rendimento quântico basal de processos não fotoquímicos (F0/Fm), rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) e máxima eficiência do processo fotoquímico no fotossistema II (Fv/F0). As áreas dos círculos mostram o valor dos coeficientes de correlação fenotípica correspondentes. Os valores de correlação são apresentados no painel superior em quadrados; As correlações positivas são exibidas em azul e as correlações negativas em vermelho. A intensidade da cor (claro a escuro) e o tamanho do círculo (pequeno a grande) são proporcionais aos coeficientes de correlação (0 a 1 para o coeficiente positivo e 0 a -1 para o coeficiente negativo).



#### 4 DISCUSSÃO

Nossos achados sugerem práticas de manejo que podem ser adequadas para a recuperação pós-estresse na cultura da soja em condições de campo. É importante considerar que, apesar das chuvas esporádicas entre dezembro de 2023 e início de fevereiro de 2024, a precipitação total desde o início da estação chuvosa (outubro de 2023) limitou significativamente a quantidade de água armazenada no solo em comparação com a safra 2022/2023 (Figura 1). Portanto, essas condições exacerbaram as condições estressantes durante o período experimental. Interessante, os resultados mostraram que a aplicação de melaço de cana-de-açúcar em um intervalo de aplicação menor (D2) aumentou significativamente os componentes de produtividade, *ou seja*, NNP, NPP, NB e NBP, o que contribuiu significativamente para o aumento substancial da produtividade (Tabela 1, Figura 3). Vale ressaltar que mesmo o tratamento D7 apresentou produtividade superior à média observada em todo o estado do Maranhão ( $3.312 \text{ kg ha}^{-1}$  no período 2023/2024, o que pode representar plantas de soja que não receberam a aplicação de melaço de cana-de-açúcar, pois esta ainda não é uma prática de manejo

estabelecida). A questão que se coloca é: quais fatores contribuíram para a maior produtividade em D2?

Em relação à fluorescência da clorofila *a*, a aplicação de melaço de cana-de-açúcar em um intervalo de aplicação menor (D2) reduziu  $F_v/F_0$  e  $F_v/F_m$ , enquanto aumentou  $F_0/F_m$ , o que pode sugerir algum impacto na via fotoquímica (Tabela 2). No entanto, os valores de  $F_v/F_m$  (indicando a máxima eficiência do rendimento quântico) ficaram dentro da faixa considerada adequada para o bom funcionamento do fotossistema II, entre 0,75 e 0,85 (Bolhàr-Nordenkampf *et al.* 1989). Embora os valores de  $F_v/F_0$  (indicando a máxima eficiência do processo fotoquímico no fotossistema II e/ou potencial atividade fotossintética) estivessem abaixo de 4, e os valores de  $F_0/F_m$  estivessem acima de 0,2, o que pode sugerir uma condição de estresse (Roháček, 2002; Zanandrea *et al.* 2006), os valores de IP foram semelhantes entre os tratamentos, sugerindo que os processos em cascata de energia, desde a absorção inicial até a redução da plastoquinona (Strasser *et al.* 2004), foram comparáveis, indicando desempenho fotoquímico semelhante entre os tratamentos. Coletivamente, os dados das variáveis de fluorescência também não explicam as diferenças de produtividade observadas. Vale ressaltar que as correlações negativas entre os componentes de rendimento e  $F_v/F_m$  e  $F_v/F_0$ , bem como as correlações positivas com  $F_0/F_m$ , não se traduzem necessariamente em uma faixa de valores além dos observados em nosso estudo. Por exemplo, sob condições de estresse, valores de  $F_v/F_m$  abaixo de 0,75 são geralmente indicativos de danos ao aparato fotossintético e redução do crescimento e produtividade (Sommer *et al.* 2023). Portanto, deve-se ter cautela ao interpretar esses resultados.

Um fator que pode estar associado à maior produtividade em plantas que receberam melaço de cana-de-açúcar em um intervalo menor após o início da precipitação pode ser uma recuperação mais rápida na atividade de enzimas relacionadas ao metabolismo do nitrogênio. De fato, o melaço de cana-de-açúcar é rico em vários micronutrientes (Tabela Suplementar S1), como ferro, zinco e manganês, que podem aumentar a atividade enzimática (Ma *et al.* 2017; Kobayashi *et al.* 2019; Tavanti *et al.* 2021), apoiando assim o desenvolvimento geral da planta. Esses micronutrientes desempenham papéis cruciais no metabolismo enzimático e na formação de clorofila, levando a níveis mais elevados desses pigmentos em plantas tratadas com melaço de cana-de-açúcar em um intervalo menor (D2), conforme refletido por maiores leituras de SPAD neste tratamento (Tabela 2). De fato, há uma forte correlação positiva entre o teor de nitrogênio e clorofila com as leituras do SPAD (Torres-Netto *et al.* 2005). Maior teor de clorofila aumenta a capacidade de absorção de luz, o que poderia potencialmente melhorar os parâmetros fotoquímicos (Abreu *et al.* 2022). No entanto, isso não foi observado neste caso. Assim, sugerimos que o maior teor de pigmento pode ter contribuído para o aumento da produtividade em D2 de duas maneiras: 1) mantendo as folhas verdes por mais tempo após o estágio R5, o que poderia

manter a capacidade fotossintética e fornecer fotoassimilados para o enchimento de grãos; e 2) aumentando a capacidade de remobilizar aminoácidos e compostos nitrogenados, resultando em maior massa de feijão. De fato, a maior área foliar verde em R7 sustentou uma alta taxa de translocação de fotoassimilados para as partes reprodutivas na soja (Raza *et al.* 2021). Isso é ainda evidenciado por uma tendência não significativa de maior IAF no tratamento D2, bem como pela forte correlação entre os valores de SPAD e a produtividade e seus componentes (Figuras 1 e 3).

Observou-se que a parcela com aplicações de melaço de cana-de-açúcar em maior intervalo apresentou redução no IG, enquanto apresentou maior ISPC (Tabela 2), indicando fechamento estomático mais pronunciado devido à redução da disponibilidade hídrica causada pelo estresse hídrico, resultando em diminuição das limitações metabólicas (Silva *et al.* 2018). Assim, essas respostas são componentes fundamentais da produtividade da planta, o que explica a menor produtividade na parcela com a aplicação de melaço de cana-de-açúcar em um intervalo maior, considerando a condutância estomática relativa.

A parcela com aplicações de melaço de cana-de-açúcar em menor intervalo apresentou respostas significativas em termos de abertura e fechamento estomático, processo facilitado pelo teor de K no melaço de cana-de-açúcar, que auxilia o complexo estomático e o funcionamento do par de células-guarda atuando como uma válvula operada hidraulicamente (Sardans e Peñuela 2021). Essas respostas foram evidenciadas pelos menores valores de CWSI e maiores valores de IG observados na parcela com aplicação de melaço de cana-de-açúcar em menor intervalo (D2), bem como por correlações fenotípicas (Figura 3).

Além de aumentar a abertura estomática, o potássio desempenha um papel crucial na melhoria do armazenamento de reservas no feijão, mantendo o equilíbrio de carga, que liga diretamente a síntese de ATP à disponibilidade de potássio (Sardans e Peñuela, 2021). Portanto, o transporte de energia da fonte para o sumidouro durante o enchimento dos grãos é dependente do potássio, o que impactou tanto na produtividade quanto na qualidade dos grãos colhidos.

Além do potássio, o magnésio é essencial para as plantas, pois aumenta o fluxo de sacarose das folhas para os órgãos do sumidouro (Kleczkowski e Igamberdiev 2021; Ishfaq *et al.* 2022), além de ser um componente das moléculas de clorofila e desempenhar papéis na fosforilação, translocação de fotoassimilados e ativação de múltiplas enzimas, como a glutatona sintetase e a fosfoenolpiruvato carboxilase. Além disso, o magnésio também ajuda a regular o pH celular e o equilíbrio de carga, e é um constituinte dos ribossomos e cromossomos (Kleczkowski e Igamberdiev 2021). Portanto, maior produtividade na parcela tratada com melaço em D2 também pode estar associada à melhor translocação de fotoassimilados para o feijão até certo ponto.

Em resumo, os resultados obtidos neste estudo sugerem que o uso do melaço de cana-de-açúcar como meio de remediar e melhorar as condições das plantas sob estresse hídrico e altas temperaturas pode ser uma estratégia viável para a produção de soja em ambientes estressantes, onde o aumento da eficiência do uso da água pode ser necessário devido às mudanças climáticas. Além disso, o melaço de cana-de-açúcar é um subproduto da produção de açúcar nas usinas de cana-de-açúcar e, portanto, seu uso como potencial aliviador de estresse pode contribuir para a sustentabilidade ambiental. Embora nossos resultados indiquem os benefícios do uso desse produto, mais estudos são necessários para confirmar a viabilidade dessa estratégia, considerando outras condições de estresse (intensidade e duração) e estádios fenológicos, bem como outras condições de cultivo (ambiente e manejo).

## **5 CONCLUSÕES**

A parcela tratada com melaço em um intervalo mais curto (D2) resultou em maior rendimento devido à melhor distribuição de fotoassimilados e maior função estomática, conforme refletido pelos valores de CWSI e IG. Juntos, esses fatores levaram a melhores componentes de produtividade, principalmente a massa de feijão por planta. No geral, foi observada uma correlação fenotípica entre os componentes de rendimento e IG e SPAD, enquanto uma correlação negativa foi observada entre os componentes de rendimento e CWSI. Por fim, a aplicação de melaço de cana-de-açúcar em D2 provavelmente reduziu a duração em que a planta ativou seus mecanismos de resposta para recuperação pós-estresse hídrico, permitindo priorizar o processo reprodutivo e, assim, reduzir as perdas de produtividade.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Alto VR Agro Group por fornecer o espaço para a execução do experimento.

## **FINANCIAMENTO**

Este estudo foi financiado pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) por meio de bolsa concedida ao WR (Edital nº 14/2022 – CPG/PROPGI/UEMASUL), e pela Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) com bolsas concedidas ao AS (BIC-02647/23) e MD (BIC-02549/23). É também muito reconhecido o apoio financeiro nacional português da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. (FCT), através dos projetos CEF (UIDB/00239/2020, <https://doi.org/10.54499/UIDB/00239/2020>) e GeoBioTec (UIDP/04035/2020, <https://doi.org/10.54499/UIDB/04035/2020>), e do Laboratório Associado TERRA (LA/P/0092/2020, <https://doi.org/10.54499/LA/P/0092/2020>) a J.C. Ramalho.

### **CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES**

Conceituação, TCR, JCN, TMF, FOR, FAMAF, EC, JCR e WPR.; metodologia, TCR, JCN, TMF, FOR, FAMAF, EC e WPR; software, WPB e WPR; validação, ASM, MDD, JSC, ALPS, NDRD, WPB, TCR, JCN, TMF, FOR, FAMAF, EC e WPR; investigação, ASM, MDD, JSC, ALPS, NDRD, WPB, TCR, JCN, TMF, FOR, FAMAF, EC, JCR e WPR; redação - rascunho original, ASM, MDD, JSC, ALPS, NDRD, WPB, TCR, JCN, TMF, FOR, FAMAF, EC, JCR e WPR; redação - revisão e edição, TCR, JCN, TMF, FOR, FAMAF, EC, JCR e WPR; administração de projetos, WPR. aquisição de financiamento, WPR. Todos os autores leram e concordaram com a versão submetida do manuscrito.

### **CONFLITO DE INTERESSES**

Todos os autores declaram não haver conflito de interesses.

### **DISPONIBILIDADE DE DADOS**

Os dados apresentados neste estudo estarão disponíveis mediante solicitação justa ao autor correspondente.

### **APROVAÇÃO DE ÉTICA**

Não aplicável.

## REFERÊNCIAS

- ARYA, H.; SINGH, M. B.; BHALLA, P. L. Towards developing drought-smart soybeans. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, artigo 750664, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.750664>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- ABREU, D. P. et al. Kaolin film increases gas exchange parameters of coffee seedlings during transference from nursery to full sunlight. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, artigo 784482, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.784482>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- BOARD, J. E.; TAN, Q. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. *Crop Science*, v. 35, p. 846–851, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500030034x>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- BOLHÁR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. *Functional Ecology*, v. 3, p. 497–514, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2389624>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. Boletim da Safra de Grãos, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 21 ago. 2024.
- DIFFENBAUGH, N. S.; BURKE, M. Global warming has increased global economic inequality. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, v. 116, p. 9808–9813, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1816020116>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- EGLI, D. B. Soybean reproductive sink size and short-term reductions in photosynthesis during flowering and pod set. *Crop Science*, v. 50, p. 1971–1977, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.12.0714>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The State of Food and Agriculture Climate Change, Agriculture and Food Security. Roma, Itália: FAO, 2016.
- FISCHER, T.; BYERLEE, D.; EDMEADES, G. Crop Yields and Global Food Security: Will Yield Increase Continue to Feed the World? Canberra: ACIAR, Grains Research and Development Corporation, 2014.
- FRÓNA, D.; SZENDERÁK, J.; HARANGI-RÁKOS, M. The challenge of feeding the world. *Sustainability*, v. 11, artigo 5816, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11205816>. Acesso em: 13 jan. 2025.
- GALIENI, A. et al. Past and future of plant stress detection: An overview from remote sensing to positron emission tomography. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, artigo 609155, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.609155>. Acesso em: 13 jan. 2025.

GARCÍA-TEJERO, I. F. et al. Infrared thermography to select commercial varieties of maize in relation to drought adaptation. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, v. 14, p. 54–67, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17686733.2017.1280338>. Acesso em: 13 jan. 2025.

GILBERT, M. E. et al. Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. *Field Crops Research*, v. 124, p. 85–92, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.014>. Acesso em: 13 jan. 2025.

GUPTA, A.; RICO-MEDINA, A.; CAÑO-DELGADO, A. I. The physiology of plant responses to drought. *Science*, v. 368, p. 266–269, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aaz7614>. Acesso em: 13 jan. 2025.

GUTIÉRREZ, S. et al. Vineyard water status assessment using on-the-go thermal imaging and machine learning. *PLOS One*, v. 1, artigo e0192037, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192037>. Acesso em: 13 jan. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-pecuaria>. Acesso em: 21 nov. 2024.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Equipe de Redação Central: H. Lee, J. Romero (orgs.). Ginebra: IPCC, 2023. p. 35–115. Disponível em: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>. Acesso em: 13 jan. 2025.

ISHFAC, M. et al. Physiological essence of magnesium in plants and its widespread deficiency in the farming system of China. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, artigo 802274, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.802274>. Acesso em: 13 jan. 2025.

JONES, H. G. *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

KALAJI, H. M. et al. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 38, artigo 102, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2113-y>. Acesso em: 13 jan. 2025.

KAMPHORST, S. H. et al. Comparison of selection traits for effective popcorn (*Zea mays* L. var. Everta) breeding under water-limiting conditions. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, artigo 1289, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01289>. Acesso em: 13 jan. 2025.

KARA, M. et al. Endogenous food-borne sugar beet molasses carbon dots for alleviating the drought and salt stress in tobacco plant. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 42, p. 4541–4556, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00344-023-10923-2>. Acesso em: 13 jan. 2025.

KLECZKOWSKI, L. A.; IGAMBERDIEV, A. U. Magnesium signaling in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 3, art. 1159, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms22031159>. Acesso em: 13 jan. 2025.

KOBAYASHI, T.; NOZOYE, T.; NISHIZAWA, N. K. Iron transport and its regulation in plants. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 133, p. 11–20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.10.439>. Acesso em: 13 jan. 2025.

MA, D. et al. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, art. 860, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00860>. Acesso em: 13 jan. 2025.

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Climate change: Atmospheric carbon dioxide. *Climate.gov*, USA. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>. Acesso em: nov. 2024.

PAIS, I. P. et al. Potential impacts of climate change on agriculture – A review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v. 32, n. 6, p. 397–407, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i6.2111>. Acesso em: 13 jan. 2025.

POWELL, N. et al. Yield stability for cereals in a changing climate. *Functional Plant Biology*, v. 39, p. 539–552, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/FP12078>. Acesso em: 13 jan. 2025.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

RAZA, M. A. et al. Growth rate, dry matter accumulation, and partitioning in soybean (*Glycine max* L.) in response to defoliation under high-rainfall conditions. *Plants*, v. 10, art. 1497, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants10081497>. Acesso em: 13 jan. 2025.

RICHTER, G. L. et al. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. *Bragantia*, v. 73, p. 416–425, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0179>. Acesso em: 13 jan. 2025.

RODRIGUES, A. P. et al. Uncovering the wide protective responses in *Coffea* spp. leaves to single and superimposed exposure of warming and severe water deficit. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, artigo 1320552, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1320552>. Acesso em: 13 jan. 2025.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. *Photosynthetica*, v. 40, p. 13–29, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1020125719386>. Acesso em: 13 jan. 2025.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Potassium control of plant functions: ecological and agricultural implications. *Plants*, v. 10, art. 419, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants10020419>. Acesso em: 13 jan. 2025.

SILVA, J. R. et al. Deficit irrigation and transparent plastic covers can save water and improve grapevine cultivation in the tropics. *Agricultural Water Management*, v. 202, p. 66–80, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.002>. Acesso em: 13 jan. 2025.

SINCLAIR, T. R. Soybean. In: Water-conservation traits to increase crop yields in water-deficit environments. Reino Unido: Springer, 2017. p. 17–26.

SIRAULT, X. R. R.; JAMES, R. A.; FURBANK, R. T. A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography. *Functional Plant Biology*, v. 36, p. 970–977, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/FP09145>. Acesso em: 13 jan. 2025.

SOMMER, S. G. et al. The chlorophyll fluorescence parameter Fv/Fm correlates with loss of grain yield after severe drought in three wheat genotypes grown at two CO<sub>2</sub> concentrations. *Plants*, v. 12, art. 436, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12030436>. Acesso em: 13 jan. 2025.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis. *Advances in photosynthesis and respiration*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. p. 321–362.

TAVANTI, T. R. et al. Micronutrient fertilization enhances ROS scavenging system for alleviation of abiotic stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 160, p. 386–396, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.040>. Acesso em: 13 jan. 2025.

TORRES NETTO, A. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, v. 104, p. 199–209, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.013>. Acesso em: 13 jan. 2025.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Production Data – Commodity Report, 2024. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>. Acesso em: 19 nov. 2024.

WIND, J.; SMEEKENS, S.; HANSON, J. Sucrose: metabolite and signaling molecule. *Phytochemistry*, v. 71, p. 1610–1614, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.07.026>. Acesso em: 13 jan. 2025.

ZANANDREA, I. et al. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 12, p. 157–161, 2006.

ZHAO, C. et al. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 114, n. 35, p. 9326–9331, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>. Acesso em: 13 jan. 2025.

ZIA, S. et al. Infrared thermal imaging as a rapid tool for identifying water-stress tolerant maize genotypes of different phenology. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 199, p. 75–84, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00537.x>. Acesso em: 13 jan. 2025.

## MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela S1 - Composição do melaço de cana-de-açúcar utilizado no experimento. Fonte: Comércio de Melaço de cana ECL LTDA.

Variável	Valor
Brix (°)	81.0
Açúcares redutores totais (g/100 mL)	59.7
Água – Karl Fischer	19,34% (p/p)

Pureza	43.4%
Amido	1709 (µg/g)
Frutose	7,5% (p/p)
Glicose	5,5% (p/p)
Dextrina	< 10 (µg/g)
Sacarose	39,9% (m/m)
Carbono Total	30%
Matéria Seca	73.2%
Cálcio	11455 (µg/g)
Proteína bruta	4.3%
Fibra bruta	0.05%
Matéria Mineral	8.5%
Cobre	3,60 (µg/g)
Densidade	1,40 kg/l
Ferro	62,0 (µg/g)
Magnésio	4150 (µg/g)
Manganésio	28,0 (µg/g)
Potássio	25570 (µg/g)
Sódio	119 (µg/g)
Zinco	6,2 (µg/g)
Cobalto	1,50 (µg/g)
Fósforo total	1,26 (mg/L)
Extrato não nitrogenado	87.2%
Freixo	9,0% (p/v)
Acidez Total – (ácido acético)	1,2 (mg/g)
ph	5.7