

ÍNDICE TÉRMICO E TROCAS GASOSAS EM FASE INICIAL DA CULTURA DO MILHO SOB ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E BIOINSUMOS

Yossef Alwan Mahmoud¹, José Lucas Pereira da Silva², Érica Maria Santana de Oliveira³,
Andrielle Dias Santana do Nascimento³, Eliana de Melo Ferretti Ferreira³, Alessandro Oliveira da
Silva⁴

RESUMO: O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de ampla importância no cenário agrícola nordestino, contudo às condições de escassez hídrica da região torna sua produção um desafio, sendo necessário estratégias para mitigar esse impacto na cultura. Diante disto, este estudo tem como objetivo avaliar os efeitos de diferentes estratégias de irrigação deficitária, associadas ao uso de bioinsumos, sobre a cultura do milho. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, no qual os fatores foram compostos por cinco estratégias de irrigação e três aplicações de bioinsumos, totalizando 60 parcelas. As estratégias de irrigação (EI) foram: irrigação plena (100% das necessidades hídricas durante todo o ciclo), déficit regular (50% das necessidades hídricas durante todo o ciclo) e déficits controlados (50% das necessidades hídricas) aplicados apenas em fases específicas da cultura: vegetativa, florescimento e enchimento de grãos. Associados a esses tratamentos, foram testadas três condições de bioinsumos: ausência de inoculação, aplicação de *Bacillus aryabhattai* e coinoculação resultante da aplicação de *Bacillus aryabhattai* e posteriormente de *Azospirillum brasilense*. As variáveis em análise incluem condutância estomática, índice térmico, potencial hídrico, altura de plantas e diâmetro do colmo. Para a condutância estomática apenas o fator EI influenciou esta variável ($p < 0.05$), com menores valores observados em plantas sob déficit regular ($23,16 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Estratégias de irrigação deficitária podem ser uma alternativa para produção do milho, recomendando que a redução da água aplicada seja realizada na fase de crescimento. O uso de bioinsumos não resultou em uma estratégia eficaz no presente estudo.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea Mays* L., *Bacillus aryabhattai*, déficit hídrico

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE. Fone (11) 98380-2988. e-mail: yossefmhmd624@gmail.com.

² Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE. Fone (83) 98608-8962. e-mail: jose.lucas@ceca.ufal.br.

³ Graduando, Depto Agronomia, UFRPE, Recife-PE.

⁴ Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE.

CANOPY TEMPERATURE INDEX AND GAS EXCHANGE IN INITIAL PHASE OF MAIZE UNDER IRRIGATION STRATEGIES AND BIOINPUT APPLICATIONS

ABSTRACT: Maize (*Zea mays* L.) is a crop of great importance in the agricultural landscape of northeastern Brazil; however, water scarcity in the region poses a significant challenge to its production, requiring strategies to mitigate the adverse effects on crop performance. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of different deficit irrigation strategies, in combination with the use of bioinputs, on maize cultivation. The experiment was conducted in a randomized block design with four replications. The treatments consisted of five irrigation strategies and three bioinput applications, totaling 60 plots. The irrigation strategies (IS) were: full irrigation (100% of crop water requirements throughout the cycle), sustained deficit (50% of water requirements during the entire cycle), and controlled deficits (50% of water requirements) applied only during specific phenological stages—vegetative, flowering, and grain filling. In combination with these treatments, three bioinput conditions were evaluated: no inoculation, inoculation with *Bacillus aryabhatai*, and co-inoculation with *Bacillus aryabhatai* followed by *Azospirillum brasilense*. The variables analyzed included stomatal conductance, canopy temperature index, water potential, plant height, and stem diameter. Stomatal conductance was influenced solely by the irrigation strategy factor ($p < 0.05$), with the lowest values observed under sustained deficit irrigation ($23.2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Deficit irrigation strategies may represent a viable alternative for maize production, with water reductions preferably applied during the vegetative stage. The use of bioinputs did not prove to be an effective strategy under the conditions of this study.

KEYWORDS: *Zea mays* L., *Bacillus aryabhatai*, water deficit.

INTRODUÇÃO

O estresse hídrico é uma condição que ocorre quando a planta não recebe água em quantidade suficiente, devido principalmente à baixa disponibilidade hídrica, impactando de forma negativa seus processos fisiológicos e bioquímicos. Dentre as culturas que sofrem com a estiagem em regiões semiáridas, destaca-se a cultura do milho (*Zea mays* L.), apesar do seu papel de destaque entre os cereais cultivados em todo o mundo, na região nordeste do Brasil enfrenta diversos problemas dentre eles a seca (Nogueira et al., 2024), sendo necessário estratégias para mitigar os impactos da restrição hídrica nesta cultura.

Uma alternativa ao estresse hídrico nas plantas é a utilização de bioinsumos (Santos et al., 2024), com base nas bactérias promotoras de crescimento, esses bioinsumos podem auxiliar no aumento da produção das plantas e melhorar a qualidade do solo, sem causar danos ao meio ambiente, dessa forma as plantas conseguem passar por adversidades climáticas como o déficit hídrico.

Outra estratégia que pode ser combinada ao uso de bioinsumos é a adoção da técnica de irrigação por déficit regulado (RDI) (Silva et al., 2021), que funciona aplicando menos água em fases específicas do desenvolvimento da planta que são menos sensíveis ao estresse hídrico. Wang et al. (2023), em estudos sobre RDI, observaram maior eficiência do uso da água na cultura do milho com a utilização desta estratégia em relação ao déficit hídrico contínuo, no qual a produtividade da água observada foi de 2,7 kg m⁻³, superando em até 41,3% outras estratégias de irrigação.

Embora o desempenho do milho sob déficit hídrico seja amplamente estudado, o uso de bioinsumos e estratégias de irrigação combinados ainda apresenta lacunas na literatura. Diante disto, o objetivo do presente estudo é avaliar se o uso combinado de bioinsumos (*Bacillus aryabhattai*) e irrigação com déficit regulado pode mitigar os impactos causados pelo déficit hídrico na fase inicial do cultivo de milho através do uso de índice térmico e trocas gasosas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido do tipo casa de vegetação, situada na Estação de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura no departamento de Engenharia Agrícola – DEAGRI, da Universidade Federal Rural de Pernambuco UFRPE, em Recife, PE (8° 01' 05'' de latitude sul e 34° 56' 48'' de longitude oeste, com altura média de 6,5 m). O ambiente protegido utilizado apresenta 7 m de largura, 24 m de comprimento, 3 m de pé direito, com cobertura do tipo arco e filme de polietileno de baixa densidade de 150 µm de espessura, tratado contra a ação dos raios ultravioletas e com difusor de luz. As paredes laterais e frontais estão confeccionadas com telas de nylon, cor preta, com 50% de sombreamento. A cultura utilizada foi o milho (*Zea mays* L.), com boa adaptabilidade à região Nordeste do Brasil. O bioinsumo promotor do crescimento utilizado foi a bactéria *Azospirillum brasilense* e *Bacillus aryabhattai*.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, e em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo cinco manejos de irrigação (parcelas) e três

manejos de aplicação de bioinsumos (subparcela). Para as estratégias de irrigação foram adotados os seguintes tratamentos: I - Irrigação plena (IP), que consiste na aplicação de 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c) durante todo seu ciclo; II - irrigação com déficit contínuo com o fornecimento de 50% (IDR) da ET_c durante todo seu ciclo; III - irrigação com déficit regular com o fornecimento de 50% da ET_c durante as fases de crescimento vegetativo (IDCV); IV - irrigação com déficit com fornecimento de 50% ET_c na fase de florescimento e na formação dos grãos (IDF) e; V - Irrigação com déficit na fase de enchimento de grão com fornecimento de apenas 50% ET_c nesta fase (IDCG 50%). Para aplicação de bioinsumos, foram utilizados os seguintes tratamentos: (I) inoculação com *B. aryabhatai*; (II) inoculação com *B. aryabhatai* + *Azospirillum brasilense*, (III) tratamento controle positivo em que não será utilizado bioinsumos.

A parcela experimental e as subparcelas, respectivamente, foram conduzidas em vasos de 20 L com 30 cm de largura, no qual foram utilizados seis vasos por parcela e dois vasos por subparcelas, totalizando 120 vasos. As doses aplicadas dos bioinsumos seguiram as orientações do fabricante Nooa Ciência e Tecnologia Agrícola.

As sementes de milho foram semeadas diretamente nos vasos com três sementes por cova, e após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando uma planta por cova. A adubação de semeadura (48 kg ha⁻¹ de N; 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 56 kg ha⁻¹ de K₂O) e cobertura (72 kg ha⁻¹ de N e 84 kg ha⁻¹ de K₂O) foi realizada de acordo com a recomendação da análise química do solo (Coelho, 2006).

A irrigação foi realizada manualmente com proveta graduada e considerando a ET_c através de lisímetro de drenagem instalado no experimento, calculando-se o consumo hídrico nas plantas pela diferença entre os volumes de entrada e saída de água (Wang et al., 2023), conforme equação (1):

$$ET_c = I - D_p \pm \Delta Z \quad (1)$$

Em que,

ET_c – Evapotranspiração da cultura (mm);

I – Irrigação aplicada (mm);

D_p – Percolação profunda (mm);

ΔZ – Variação do armazenamento de água no solo (mm).

Durante toda a fase inicial da cultura a tensão de água no solo foi monitorada através de tensiômetros de punção instalados a 0,2 m de profundidade nos vasos. As medidas eram realizadas de maneira diária às 9h da manhã.

Foram avaliados os seguintes parâmetros aos 45 dias após a semeadura (DAS): altura de plantas (AP, cm), medida através de trena (superfície do solo até a última folha expandida), condutância estomática (gs, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), obtidos através de porômetro (LI-600 Licor), diâmetro do colmo (DC, mm) medido com paquímetro digital.

O Índice térmico (ΔT) foi mensurado através da medição de temperatura foliar, por meio de termômetro infravermelho e a temperatura do ambiente no momento da leitura, por intermédio de termohigrometro digital. As leituras foram realizadas às 8h da manhã, mantendo-se a distância de 1 m, conforme a relação entre o raio dos feixes de radiação e altura da planta (Carvalho & Oliveira, 2022). A obtenção do ΔT foi realizada conforme equação (2):

$$\Delta T = (T_f - T_{ar}) \quad (2)$$

Em que,

ΔT – Índice térmico ($^{\circ}\text{C}$);

T_f – Temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$);

T_{ar} – Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

O potencial hídrico foliar (Ψ_f , kPa) foi obtido por câmara de Scholander (Figura 1A), através da exsudação do pecíolo foliar, observado por meio de lupa (Figura 1B). As medidas foram realizadas no período próximo a temperatura de orvalho, no horário compreendido entre 4h e 5h da manhã.

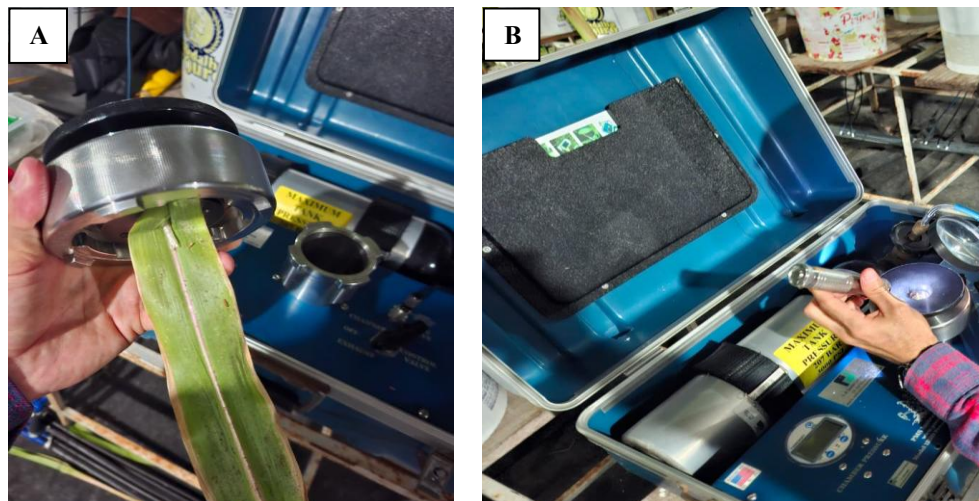


Figura 1. Obtenção do potencial hídrico foliar através de câmara de Scholander (A) com observação por meio de lupa (B)

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade dos resíduos pelo teste Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett, em seguida foi realizada a análise de variância pelo teste F, ocorrendo efeito significativo ($p \leq 0,05$), estas foram comparadas pelas médias obtidas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme observado na figura 2, as estratégias de irrigação sem uso de bioinsumos (Figura 2A), alcançaram as maiores tensões de água no solo para os tratamentos IDR (-76,9 kPa) e IDCV (-86,1 kPa). As estratégias de irrigação com *Bacillus Aryabhatai* (Figura 2B), alcançaram menores valores de tensão de água no solo, com os tratamentos com déficit controlado apresentando valores de -75,6 kPa (IDR) e - 67,8 kPa (IDCV). Para os tratamentos com o uso de *Bacillus Aryabhatai* e *Azospirillum brasilense*, os tratamentos com déficit alcançaram valores de - 75,6 kPa (IDR) e - 61,8 kPa (IDCV).

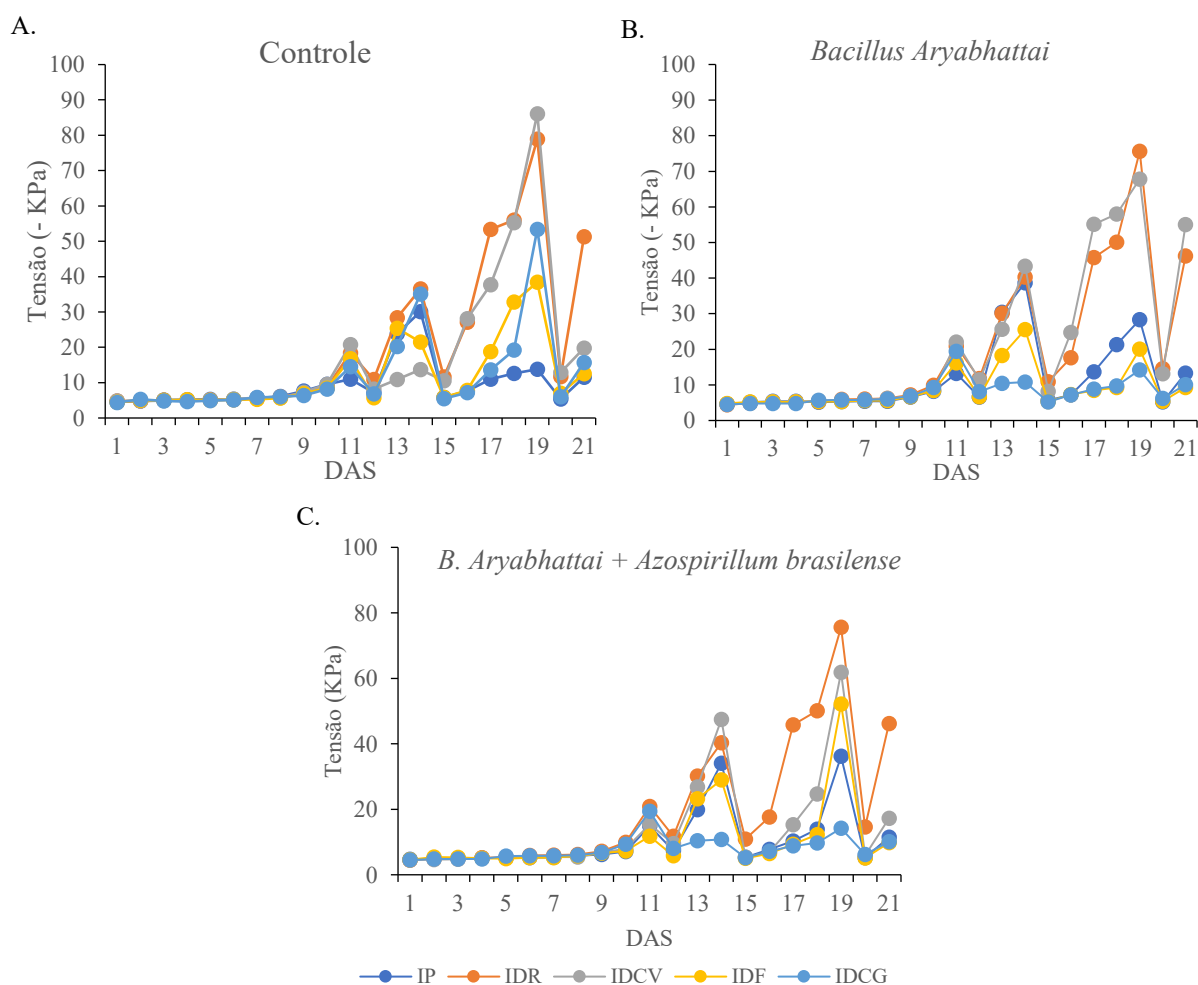


Figura 2. Tensão de água no solo nas diferentes estratégias de irrigação para os tratamentos com bioinsumos: controle (A), *Aryabhatai* (B) e *Aryabhatai* + *Azospirillum brasilense*

Pesquisas evidenciam que irrigações com déficit contínuo alcançam menores eficiência do uso da água em relação a estratégias de irrigação com déficit regulado (Wang et al., 2023), o que pode estar relacionado ao déficit hídrico acumulado ao longo do ciclo em estágios fenológicos mais sensíveis, o que reduziria possivelmente, o rendimento da cultura do milho.

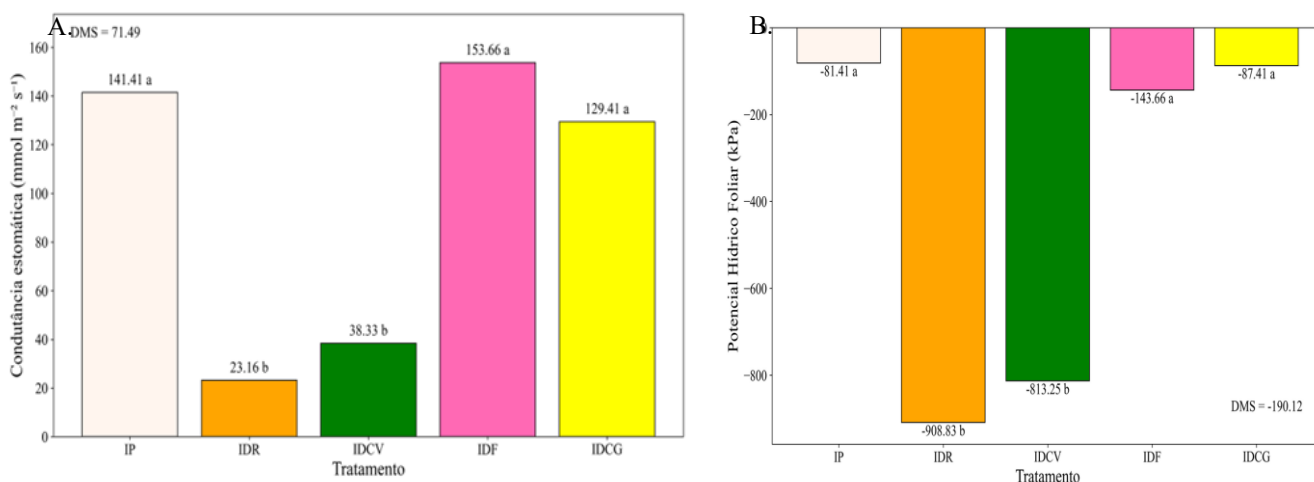
De acordo com a Tabela 1, apenas as variáveis g_s e Ψ_f foram influenciadas ($p \leq 0.05$) pelo fator estratégias de irrigação (EI). Não foram observados efeito significativo para o fator bioinsumos (B) em nenhuma das variáveis estudadas. Para a interação entre os fatores (EI x B), não foram observadas significância em nenhuma das variáveis estudadas). Possivelmente, a cultura do milho pode apresentar uma maior resistência durante a fase de crescimento, o que pode ter contribuído para os resultados apresentados no presente estudo.

Tabela 1. Quadrado médio da análise de variância para as variáveis estudadas

F.V.	GL	AP	DC	g_s	ΔT	Ψ_f
Blocos	3	44,31 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1939,73 ^{ns}	40,37**	42186,7 ^{ns}
EI	4	44,64 ^{ns}	2,26 ^{ns}	4583,19**	4,43 ^{ns}	2083074,5**
Bioinsumos (B)	2	48,05 ^{ns}	3,21 ^{ns}	1274,85 ^{ns}	0,81 ^{ns}	63022,1 ^{ns}
EI x B	8	130,46 ^{ns}	2,77 ^{ns}	2974,20 ^{ns}	2,38 ^{ns}	43972,6 ^{ns}
CV		21,55	17,86	6,2	6,20	4,15

¹Fonte de variação (F.V.); Graus de liberdade (GL); não significativo (ns); significativo a 5% pelo teste F(**).

Para a variável condutância estomática (Figura 2A), as estratégias de irrigação IP, IDF e IDCG apresentaram os maiores valores entre as estratégias, enquanto para IDR e IDCV observaram-se os menores valores ($23,16$ e $38,33 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), indicando restrição hídrica nestes tratamentos, no qual a planta promove o fechamento dos seus estômatos para reduzir a perda de água ao ambiente. Tal fato pode ser constatado na variável potencial hídrico foliar (Figura 2B), no qual os menores valores foram observados para IDR ($-908,83 \text{ kPa}$) e IDCV ($-813,25 \text{ kPa}$), no qual a planta promove maior esforço para absorção de água promovendo um valor de Ψ_f mais negativo (Taiz & Zieger, 2017).



Letras maiúsculas iguais não são significativas pelo teste de Tukey

Figura 3. Condutância estomática (A) e potencial hídrico foliar (B), em função das estratégias de irrigação na cultura do milho (*Zea May L.*)

Segundo Silva et al. (2021), a cultura do milho apresenta elevada sensibilidade na fase de pendoamento, provocando a não formação da espiga pela planta. Estes autores ainda concluem

que o déficit hídrico quando ocasionado na fase de polinização pode produzir espigas mal-formadas, podendo acarretar uma perda significativa na produção comercial desta cultura. Apesar de não apresentar uma influências nas variáveis respostas iniciais da cultura do milho, possivelmente o uso dos bioinsumos estudados na presente pesquisa, podem influenciar no crescimento radicular (Santos et al., 2024) e conseqüentemente nas fases fenológicas de florescimento e enchimento dos grãos, com maior tolerância a seca.

CONCLUSÕES

Estratégias de irrigação deficitária podem ser uma alternativa para produção do milho em condições de escassez hídrica na fase de crescimento. O uso de bioinsumos não resultou em uma estratégia eficaz na fase inicial da cultura do milho no presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e Manejo da Água na Agricultura Irrigada**. 2ed. Viçosa: Editora UFV, 2022, 372p.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas-MG: Embrapa, 2006. 10p. (Circular Técnica, 78). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>> Acesso em 03 de Jul 2025.

NOGUEIRA, D. B.; SILVA, A. O.; SOUSA, A. M.; COSTA, B. R. S.; PUTTI, F. F. Cropping calendar, agroclimatic and agroecological zoning for rainfed maize (*Zea mays* L.) under different rainfall scenarios in a semi-arid region of Brazil. **Crop & Pasture Science**, v. 75, p. 1-12, 2024.

SANTOS, J. P.; OLIVEIRA, A. L. P.; PUTTI, F. F. Bioinsumos na agricultura: panorama tecnológico das patentes biológicas. **Revista De Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 9, e4137, 2024.

SILVA, S., SOUSA, A. C. P; SILVA, C. S.; ARAÚJO, E. R.; SOARES, M. A. S.; TEODORO, I. Parâmetros produtivos do milho sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial –Nordeste, v. 1, n. 1, p. 30-41, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 6.ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017. 888p.

WANG, F.; MENG, H.; XIE, R.; WANG, K.; MING, B; HOU, P.; XUE, J.; LI, S. Optimizing deficit irrigation and regulated deficit irrigation methods increases water productivity in maize, **Agricultural Water Management**, v. 280,108205, 2023.