

AGOSTINHO RODRIGUES ZITHA

Manejo da irrigação através da evapotranspiração em estágios
fenológicos do níger (*Guizotia abyssinica*)

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
AGOSTO – 2025

AGOSTINHO RODRIGUES ZITHA

Manejo da irrigação através da evapotranspiração em estágios
fenológicos níger (*Guizotia do abyssinica*)

Dissertação apresentada à Universidade Estadual
do Oeste do Paraná, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Energia na Agricultura, para obtenção do título de
Mestre.

Orientador: Reginaldo Ferreira Santos

Coorientador: Luiz Antônio Zanão Júnior

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
AGOSTO – 2025

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Zitha, Agostinho
Manejo da irrigação através da evapotranspiração em
estágios fenológicos do níger (*Guizotia abyssinica*) /
Agostinho Zitha; orientador Reginaldo Santos; coorientador
Luiz Zanão Junior. -- Cascavel, 2025.
59 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) --
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências
Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Energia na Agricultura, 2025.

1. . I. Santos, Reginaldo, orient. II. Zanão Junior, Luiz,
coorient. III. Título.

AGOSTINHO RODRIGUES ZITHA

Manejo da irrigação através da evapotranspiração em estágios fenológicos do
níger (*Guizotia abyssinica*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e culturas energéticas, APROVADO pela seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 REGINALDO FERREIRA SANTOS
Data: 10/08/2025 22:49:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador - Reginaldo Ferreira Santos
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Luciene Kazue Tokura

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Documento assinado digitalmente
 THOMAS OEHNINGER RAMOS
Data: 07/08/2025 21:38:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thomás Oehninger Ramos
Ecodefense Brasil Ltda.

Cascavel, 07 de agosto de 2025

“Dedico este trabalho à minha mãe e à minha família.”

AGRADECIMENTOS

Primeiro, quero expressar minha profunda gratidão a Deus, fonte de toda sabedoria e força. Sua orientação e bênçãos estiveram presentes em cada etapa deste trabalho. À minha amada família, que sempre esteve ao meu lado, apoiando-me nos momentos de desafio e celebrando as conquistas. Seu amor e incentivo foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

A todos que contribuíram com a realização deste estudo. Sem o apoio e a colaboração de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Ao meu orientador, Professor Reginaldo Ferreira Santos, pela paciência, orientação e incentivo ao longo dessa jornada acadêmica. Suas sugestões foram inestimáveis para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos colegas de laboratório, que compartilharam conhecimento, experiências e risadas. A troca de ideias e debates enriqueceu meu aprendizado e me motivou a seguir em frente.

Agradeço,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. a) estágio vegetativo, b) pleno florescimento, c) formação de grãos, d) grãos (sementes).	8
Figura 2. Evolução do coeficiente de cultura (K_c) ao longo do ciclo fenológico de culturas de ciclo anual, evidenciando-se as fases 1 ou inicial (K_{c1}), 3 ou de florescimento (K_{c3}) e o ponto da maturação fisiológica (K_{c5}).	19
Figura 3. A aplicação de uma regressão linear para a determinação do coeficiente de cultura (K_c) do algodão, adaptado especificamente para as condições fenológicas do Níger.	20
Figura 4. Temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), (Experimento na casa de vegetação) 2024.	21
Figura 5. Temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), (Experimento em campo) 2024.	22
Figura 6. Precipitação em (mm), durante o ciclo do Níger, 2024.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise físico-química do solo.....	16
Tabela 2. Descrição dos tratamentos e estágios de irrigação.	16
Tabela 3. Características de raiz em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados na casa de vegetação.....	25
Tabela 4. Características de caule em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados na casa de vegetação.....	27
Tabela 5. Características de caule em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados na casa de vegetação.....	29
Tabela 6. Características de raiz em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados em ambiente aberto.	31
Tabela 7. Características de caule em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados em ambiente aberto.	33
Tabela 8. Desenvolvimento de capítulos e número de folhas em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados em ambiente aberto.	35
Tabela 9. Indicadores de produtividade em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados em ambiente aberto.	37

ZITHA, Agostinho Rodrigues. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto, 2025. **Manejo da irrigação através da evapotranspiração em estágios fenológicos do níger (*Guizotia abyssinica*)**. Orientador: Reginaldo Ferreira Santos. Coorientador: Luiz Antônio Zanão Júnior.

RESUMO

O objetivo foi avaliar o impacto do déficit hídrico em estádios fenológicos do Níger (*Guizotia abyssinica*). Foram realizados dois experimentos na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, Paraná: em ambiente protegido e em campo aberto. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito tratamentos e quatro repetições (32 parcelas) nomeadamente: T1-(Vegetativo), T2-(Reprodutivo), T3-(Formação de Grãos), T4-(Vegetativo e Reprodutivo), T5-(Vegetativo e Formação de Grãos), T6-(Reprodutivo e Formação de Grãos), T7-Nenhum dos Estágios, T8-(Vegetativo, Reprodutivo e Formação de Grãos). O substrato foi solo vermelho e húmus de vermicompostagem colocados em vasos de PVC. A irrigação teve como base a medida da evapotranspiração de referência (ET_o) pelos métodos de Thornthwaite, Camargo e Penman-Monteith, adaptados a região. O cultivo foi em ambiente protegido, sob uma estrutura tipo túnel alto sem controle de temperatura. As irrigações foram de forma localizada. No campo, a semeadura foi em área aberta, sem controle climático. Em ambos, foi ajustada a demanda hídrica das plantas pelo coeficiente de cultura (K_c), considerando as condições fenológicas. As variáveis analisadas incluem altura das plantas, número de folhas e de capítulos, diâmetro (capítulo e caule), biomassa seca e fresca (parte aérea e raiz) e produtividade. A análise estatística foi conduzida por teste F a 5% de significância e no software Sisvar. Na casa de vegetação, T8 foi significativo em: comprimento de raiz (17 cm) e de caule (144,50 cm), massa fresca (3,49 g) e massa seca (1,80 g) de raiz, massa fresca (40,37 g) e massa seca (8,89 g) de caule, diâmetro de caule (8,85 mm), número de capítulos (20,25) e folhas (35,50). Diâmetros de capítulos não obtiveram diferença significativa. Entre os tratamentos combinados, T4 se destacou, assim como entre os isolados foi T1. No campo aberto, T8 também obteve os melhores resultados, principalmente: massa fresca (4,23 g) e massa seca (0,85 g) de raiz, massa fresca (46,6 g) e massa seca (8,19 g) de caule, diâmetro de caule (8,53 mm), número de capítulos (33), folhas (49). Para certas variáveis, não foram observadas diferenças significativas: comprimento de caule e raiz, número e peso de sementes, massa de mil grãos, diâmetro de capítulo e indicadores de produtividade. Entre os combinados, T6 teve os maiores números. Para os isolados, T3 foi a maior média. T3 mostrou-se sensível ao estresse hídrico e a irrigação contínua potencializou o crescimento e produtividade.

"Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

PALAVRAS-CHAVE: *Guizotia abyssinica*; déficit hídrico; estágios fenológicos; evapotranspiração; coeficiente de cultura.

ZITHA, Agostinho Rodrigues. State University of Western Paraná, August, 2025.

Irrigation management through evapotranspiration in phenological stages of niger (*Guizotia abyssinica*). Reginaldo Ferreira Santos, Luiz Antônio Zanão Júnior.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the impact of water deficit during the phenological stages of Niger (*Guizotia abyssinica*). Two experiments were conducted at the State University of Western Paraná (UNIOESTE), in Cascavel, Paraná, Brazil: one in a protected environment and the other in open field conditions. The experimental design was completely randomized, with eight treatments and four replications (32 plots), as follows: T1-(Vegetative), T2-(Reproductive), T3-(Grain Formation), T4-(Vegetative and Reproductive), T5-(Vegetative and Grain Formation), T6-(Reproductive and Grain Formation), T7-(None of the Stages), and T8-(Vegetative, Reproductive, and Grain Formation). The substrate consisted of red soil and vermicompost humus placed in PVC pots. Irrigation was based on reference evapotranspiration (ET_o), estimated using the Thornthwaite, Camargo, and Penman-Monteith methods adapted to the region. The cultivation in the protected environment was conducted under a high tunnel structure without temperature control. Irrigation was applied locally. In the field, sowing took place in an open area without climate control. In both environments, the plants' water demand was adjusted using the crop coefficient (K_c), considering the phenological stages. The variables analyzed included plant height, number of leaves and capitula, stem and capitulum diameter, fresh and dry biomass (shoot and root), and yield. Statistical analysis was performed using the F test at a 5% significance level with the Sisvar software. In the greenhouse, T8 was significant for: root length (17 cm) and stem length (144.50 cm), fresh mass (3.49 g) and dry mass (1.80 g) of roots, fresh mass (40.37 g) and dry mass (8.89 g) of stems, stem diameter (8.85 mm), number of capitula (20.25), and number of leaves (35.50). Capitulum diameter showed no significant differences. Among the combined treatments, T4 stood out, and among the isolated ones, T1 was the most prominent. In the open field, T8 also showed the best results, particularly for: fresh mass (4.23 g) and dry mass (0.85 g) of roots, fresh mass (46.6 g) and dry mass (8.19 g) of stems, stem diameter (8.53 mm), number of capitula (33), and number of leaves (49). For certain variables, no significant differences were observed: stem and root length, number and weight of seeds, one thousand-grain weight, capitulum diameter, and productivity indicators. Among the combined treatments, T6 had the highest values. Among the isolated treatments, T3 showed the highest mean. T3 proved to be sensitive to water stress, and continuous irrigation enhanced growth and productivity.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

KEYWORDS: *Guizotia abyssinica*; water deficit, phenological stages, evapotranspiration, crop coefficient.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo Geral	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Combustíveis Fósseis	4
2.2 Energias Renováveis	5
2.3 Biomassa	6
2.4 A cultura do níger (<i>Guizotia abyssinica</i>)	7
2.5 Déficit hídrico nos estádios fenológicos	9
2.6 Estresse hídrico	10
2.7 Manejo da Irrigação.....	11
2.8 Evapotranspiração (ET)	12
2.9 Evapotranspiração de referência (ET₀)	13
2.10 Evapotranspiração da cultura (ET_c).....	13
2.11 Coeficiente de cultivo (K_c)	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Localização do experimento	15
3.2 Caracterização dos experimentos.....	15
3.3 Irrigação dos experimentos	17
3.3.1 Experimento na casa de vegetação	21
3.3.2 Experimento em campo.....	21
3.3.3 Parâmetros avaliados	23
3.3.3.1 Altura da planta	23
3.3.3.2 Número de folhas e de capítulos por planta	23
3.3.3.3 Diâmetro do caule e capítulos	23

3.3.3.4 Massa seca	23
3.3.3.5 Número e peso de grãos	24
3.3.3.6 Massa de 1000 grãos	24
3.3.3.7 Análise dos dados coletados.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1 Experimento em casa de vegetação	25
4.2 Experimento em campo (ambiente aberto)	30
5. CONCLUSÃO	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento do reconhecimento das mudanças climáticas, houve um impulso para a rápida adoção de fontes renováveis como um elemento importante na mitigação dos efeitos de um ambiente em mudança. De acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável, IRENA (2023), aproximadamente dois terços das emissões mundiais de gases de efeito estufa resultam diretamente da queima de combustíveis fósseis, isso ressalta a necessidade urgente de alternativas mais limpas e sustentáveis. Sob essa luz, os biocombustíveis, que incluem a produção de biodiesel, surgiram como opções, principalmente quando produzidos em condições onde os cultivos estão sob baixa disponibilidade de água (Silva; Freitas, 2008).

O biodiesel, um combustível renovável adequado para motores a diesel, é obtido por meio da reação de transesterificação, visto que triglicerídeos reagem com álcoois de cadeia curta na presença de catalisadores, resultando em um biocombustível eficiente e ecologicamente correto (Yesilyurt; Cesur, 2020). Óleos tanto comestíveis quanto não comestíveis têm atraído o interesse de pesquisadores e do setor energético por seu potencial de produção sustentável a partir de biomassa, como o biodiesel (Kumar; Bansal, 2023).

Entre as plantas com potencial de fornecer matéria-prima para a produção do biodiesel, o níger (*Guizotia abyssinica*), originário da África, tem se destacado (Carneiro *et al.*, 2008; Sarin *et al.*, 2009). Estudos indicam que esta planta apresenta alta resiliência, sendo capaz de se desenvolver em solos de baixa fertilidade e em condições de estresse hídrico, características que se tornam cada vez mais cruciais frente às mudanças climáticas globais (Geleta; Ortiz, 2013). Essas propriedades fazem do níger uma alternativa promissora para áreas sujeitas à variabilidade climática e escassez de recursos hídricos.

Pesquisas realizadas na Polônia, pelos pesquisadores Szuba-Trznadel *et al.* (2022) reforçam que o valor agrônômico do níger, em estágio de crescimento da planta apresenta impacto direto na produtividade e na qualidade nutricional. Em ensaios de campo, a colheita realizada após 90 dias de cultivo resultou nos maiores rendimentos de forragem, destacando a importância de um manejo agrônômico adequado para otimizar sua produção. Em um cenário de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, essa plasticidade é essencial para garantir a segurança alimentar e a continuidade das práticas agrícolas (Doumon, 2024; Calvin *et al.*, 2023).

Além disso, os efeitos dos fatores climáticos, como temperatura e disponibilidade de água, na interação com a produção agrícola devem ser completamente compreendidos para a sustentabilidade das culturas (Agroadvance, 2024).

O aumento das temperaturas e a crescente variação da precipitação proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) podem trazer impactos substanciais tanto para o desenvolvimento das plantas, quanto para o rendimento das culturas. Assim, os agricultores precisarão colocar estratégias adaptativas em prática para mitigar esses impactos (Ruane; Rosenzweig, 2012).

Na literatura, tem-se observado que o níger tem baixa tolerância à seca. Assim, quando o período de seca se estende por muito tempo, a qualidade da produção é comprometida influenciando negativamente o rendimento do óleo nas sementes (Geleta; Ortiz, 2013). Dessa forma, em regiões onde a precipitação é escassa, a suplementação com irrigação controlada, baseada em modelos de evapotranspiração, pode aumentar significativamente a produtividade da cultura (Szuba-Trznadel *et al.*, 2022).

Considerando que a cultura do níger pode ser severamente afetada por déficit hídrico durante estágios críticos de seu desenvolvimento fenológico, nesse sentido a pesquisa busca responder à seguinte questão: Como o déficit hídrico em diferentes estágios fenológicos impacta o crescimento e a produtividade da cultura do níger?

A irrigação eficiente é uma prática crucial para a sustentabilidade da produção agrícola, especialmente em regiões onde a água é um recurso limitado. Estudos sobre a cultura do Níger em condições de déficit hídrico é relevante para definir práticas de manejo que otimizem o uso da água e garantam a produtividade da cultura em diferentes condições experimentais.

Com base no monitoramento da evapotranspiração e da precipitação, será possível mitigar os efeitos do déficit hídrico sobre a produtividade do níger, especialmente nos estágios fenológicos mais sensíveis, promovendo um aumento no rendimento de óleo nas sementes e garantindo maior eficiência no uso da água com aplicação de técnicas de irrigação controlada.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

- Avaliar o déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura do níger (*Guizotia abyssinica*).

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar o efeito da disponibilidade hídrica em fases fenológicas do cultivo de níger, nas características de crescimento das plantas, nomeadamente altura de planta, diâmetro do caule, ramificação, número de capítulos por planta e área foliar.
- Determinar a produtividade das plantas, em termos de massa total e massa de 1000 grãos, sob efeito da disponibilidade hídrica em fases fenológicas do cultivo de níger.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Combustíveis fósseis

O gás natural se forma em condições similares às do petróleo e a partir dos mesmos componentes. Ele é encontrado e frequentemente associado ao petróleo ou dissolvido nele, especialmente em reservatórios submetidos a altas pressões (ANP, 2025).

O carvão apresenta uma composição variável, que depende de sua origem podendo conter entre 25% e 97% de carbono, de 2% a 6% de hidrogênio, de 2% a 20% de oxigênio, além de pequenas quantidades de nitrogênio, enxofre e diversos minerais (Oliveira; Silva, 2024).

Aproximadamente metade das reservas de petróleo disponíveis já foram exploradas, restando uma estimativa de cerca de 50 anos de uso. Tornando-se importante a compreensão mais aprofundada do consumo de energia no nosso planeta. O mesmo cenário se aplica ao gás natural, que também possui um tempo de utilização estimado em torno de 60 anos antes de se esgotar completamente, uma vez que é uma fonte não-renovável de energia (Silva; Araújo, 2022).

Hoje em dia, fábricas utilizam muita energia, representando cerca de um quarto do consumo total mundial. Essa energia está ligada a uma quantidade importante de gases que causam o efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), onde cerca de 8% dessas emissões estão relacionadas com os processos industriais específicos, como na produção de amônia, aço e refino de petróleo (Youn *et al.*, 2016).

As principais fontes de poluição atmosférica derivam dos gases liberados durante a queima de combustíveis fósseis, especificamente as partículas finas conhecidas como MPs (Materiais Particulados). Essas partículas não apenas prejudicam a visibilidade, mas também afetam a radiação solar e a temperatura do solo, representando um risco tanto para a saúde humana, quanto para o meio ambiente. A poluição do ar resultante da liberação de partículas finas provenientes da queima de combustíveis fósseis em veículos automotores é um exemplo dos efeitos das atividades humanas nas mudanças climáticas. Essa poluição afeta negativamente a qualidade do ar e, por consequência, a saúde e o meio ambiente (Souza, 2024).

Com o início da crise do petróleo na década de 70, o mundo assistiu à transformações na política energética, motivadas principalmente por questões econômicas, ambientais, de segurança e sociais, por essa razão, orientações

energéticas e iniciativas de benefícios fiscais concentram-se na adoção de fontes renováveis de energia (Fernandes *et al.*, 2020). A adoção de fontes de energia renováveis tem se mostrado como um elemento essencial para impulsionar o desenvolvimento sustentável (Dias, 2024).

2.2. Energias renováveis

As fontes de energias renováveis, especialmente a eólica e a solar, são amplamente reconhecidas como as mais sustentáveis globalmente. Elas não geram poluentes e não consomem matérias-primas escassas na natureza (Fernandes *et al.*, 2024).

Na atualidade, as três principais fontes renováveis que compõem a matriz energética brasileira são a hidrelétrica (53,88%), a eólica (15,22%) e a biomassa (8,31%). Um crescente aumento tem sido observado na disponibilidade de energia fotovoltaica (Matriz Elétrica Brasileira, 2024). Por outro lado, entre as fontes não renováveis, destacam-se o gás natural (8,78%), o petróleo (3,92%) e o carvão mineral (1,7%) (DE, 2024).

Segundo informações divulgadas pela ANEEL (2024), a previsão de crescimento na geração de energia elétrica do país para o ano de 2024 foi de 10,1 GW. Esse avanço foi o segundo maior já registrado pela Agência desde sua fundação em 1997, ficando atrás apenas do crescimento de 10,3 GW observado em 2023.

A composição energética brasileira se difere da média mundial, priorizando as fontes renováveis em maior proporção do que em outras partes do mundo. Se somar lenha e carvão vegetal, energia hidráulica, derivados da cana-de-açúcar, energia eólica, solar e outras fontes renováveis, chega-se a 47,4% do total da matriz energética, representando quase metade do suprimento energético (Matriz energética, 2023).

A energia solar refere-se ao aproveitamento da luz do sol, que é captada e convertida em formas de energia úteis para atender às necessidades humanas (Araujo; Henriques; Lourenço, 2012). É uma fonte limpa, renovável e abundante que enfrenta barreiras econômicas devido aos elevados custos de sua tecnologia. Pode ser gerada diretamente por células fotovoltaicas de silício, que transformam a luz solar em eletricidade, ou de forma indireta, por meio de usinas que utilizam espelhos para concentrar a luz e aquecer fluidos ou ar, como nas instalações no deserto de Mojave, nos EUA, e em Israel (Moreira; Cardoso, 2021).

A energia eólica consiste na conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica, que pode ser posteriormente transformada em energia elétrica (Picolo; Rühler; Rampinelli, 2014). O Brasil se destaca mundialmente por ocupar a sexta posição entre os países com maior capacidade instalada de energia eólica (Abeeólica, 2022).

A energia hídrica é obtida ao transformar a energia potencial de uma corrente de água em energia elétrica. Esse processo ocorre por meio de turbinas hidráulicas, que trabalham em conjunto com geradores e alternadores para converter a força da água em eletricidade de maneira eficiente. Destacando-se por ter um papel fundamental no setor elétrico brasileiro, com o aumento da demanda de energia, aliado aos desafios como oferta insuficiente e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais, tornando evidente a necessidade de diversificar as fontes de energia (Nobre, 2023).

Outra fonte com alto potencial energético, composta principalmente por hidratos de carbono, é denominada biomassa, tendo como principais fontes a madeira, resíduos agrícolas, urbanos e alimentares, além de resíduos animais, plantas aquáticas e algas (Marafon *et al.*, 2016).

2.3. Biomassa

O governo do Brasil estabeleceu o Plano Nacional de Agroenergia (PNA), no qual o biodiesel é considerado uma das bases para a promoção da energia proveniente de biomassa (Oliveira; Ramalho, 2006). A biomassa, proveniente de organismos vivos, é uma fonte de energia renovável que utiliza a combustão de material orgânico, embora sua queima emita CO₂, o impacto ambiental é reduzido, pois o carbono liberado já foi absorvido pelas plantas anteriormente. No passado, a biomassa desempenhou um papel fundamental na geração de calor, iluminação e energia mecânica, especialmente durante a Revolução Industrial e em crises de abastecimento de petróleo, como na década de 1970. Apesar do domínio dos combustíveis fósseis, a biomassa segue como uma alternativa mais sustentável e econômica (Monteiro; Ferreira; Santos, 2013).

O Brasil possui condições favoráveis para o cultivo de biomassa, aproveitando culturas como a cana-de-açúcar, o sorgo e outras para geração de energia. Essa produção pode ocorrer por intermédio do álcool ou do biodiesel produzido a partir de óleos extraídos de oleaginosas, como a soja e o dendê (Lima, 2012).

O biocombustível conhecido como biodiesel tem se destacado como uma alternativa ecologicamente viável comparado aos combustíveis fósseis. O seu uso entrega vantagens significativas para o meio ambiente, uma vez que contribui com a redução das emissões de gases de efeito estufa e ajuda a mitigar os impactos negativos associados aos combustíveis convencionais (Ferreira *et al.*, 2024).

Para Vidal (2019), a produção de biodiesel se coloca como uma alternativa mais limpa aos combustíveis fósseis, destacando-se por sua capacidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e fomentar o uso de fontes de energia renováveis. Avanços recentes nas intersecções do conhecimento têm possibilitado reduzir os custos de fabricação, tornando o biodiesel uma opção mais competitiva em comparação aos combustíveis fósseis (Honório, 2024; Saltarin *et al.*, 2023).

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por meio da Resolução nº 14/2012, o biodiesel consiste em um 'combustível composto por ésteres alquílicos de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzidos a partir da transesterificação ou esterificação de matérias graxas provenientes de fontes vegetais ou animais, e que atende às especificações do Regulamento Técnico' (ANP, 2012).

Dentre as diversas culturas energéticas, o níger tem-se mostrado rentável para a produção de biocombustíveis. Sarin, Sharma e Khan (2009) mencionam que ele pode apresentar rendimento de até 97,8% de éster metílico. Faz-se necessário aprofundar estudos nessa cultura, que não é muito difundida no Brasil.

2.4. A cultura do níger (*Guizotia abyssinica*)

O níger (*Guizotia abyssinica*) é uma planta herbácea, dicotiledônea, de ciclo perene, pertencente à família Asteraceae. A planta pode atingir uma altura de desenvoltura de 0,5-1,5 metros e possui uma polinização cruzada, realizada por abelhas (Bessa *et al.*, 2008) (Figura 1).



Figura 1 a) estágio vegetativo; b) pleno florescimento; c) formação de grãos; d) grãos (sementes).

O níger é uma oleaginosa cultivada há 5.000 anos, cultivada com maior ênfase no sul da Índia e na Etiópia, que são os principais países produtores. As sementes do níger pertencem à mesma família das plantas dos girassóis (Tesema; Mekonen, 2023). As folhas do níger são dispostas de forma oposta ao longo do caule e alternada na parte superior com um comprimento de 10 a 20 cm e uma largura de 3 a 5 cm. O caule pode ser liso ou levemente áspero, sendo oco e quebradiço com um diâmetro na base de aproximadamente 1,5 cm apresentando uma ramificação moderada a bem desenvolvida, com cerca de 5 a 12 ramos por planta, sendo menos densa em áreas de alta densidade (Gatinet; Sharma, 1996).

As suas flores, geralmente amarelas, formam capítulos com diâmetro entre 15 e 50 mm. As pequenas flores individuais têm comprimento de 5 a 20 mm, e os capítulos agrupam-se de dois a três, com um receptáculo semiesférico de 1 a 2 cm de diâmetro. Esse capítulo consiste em seis a oito flores férteis de raios femininos com óvulos obovados estreitamente elípticos, que são responsáveis pelo processo de reprodução (Shivarkar; Kashid, 2020).

Suas sementes contêm cerca de 30% de óleo, composto por 9,2% de ácido palmítico, 10,1% de ácido esteárico, 9,0% de ácido oleico e, principalmente, 71,7% de ácido linoléico, tornando-o conveniente para uso na produção comercial de biodiesel (Sarin *et al.*, 2009). Seu óleo é uma boa fonte de ácido linoleico, um ácido graxo essencial (ômega-6) que constitui 75%-85% de seu conteúdo. Este ácido graxo ganhou amplo reconhecimento pelos vários benefícios positivos à saúde, como efeitos anti-hipertensivos e antidoenças coronárias (Sundar *et al.*, 2024). Devem ser colhidas com alto teor de umidade, tornando o processo de secagem vital para aumentar sua

vida útil durante o armazenamento e diminuir a inseminação de microrganismos e insetos (Silva *et al.*, 2018).

A cultura do níger é muito importante em relação às economias sustentáveis, especialmente em regiões marginais, porque tem a capacidade de se adaptar em ambientes secos (Gebeyehu *et al.*, 2021).

2.5. Déficit hídrico nos estádios fenológicos

A deficiência de hídrica é resultado de períodos prolongados ou pontuais de seca, levando a uma queda no crescimento das plantas devido à redução do potencial hídrico, da abertura estomática, da fotossíntese e da assimilação de nitrogênio pela planta (Frank; Power; Willis, 1973). Ocorre quando a planta perde água mais rapidamente do que consegue absorver. Esse desbalanço interfere no equilíbrio dos potenciais hídricos em diferentes partes da planta, levando a uma disputa por água entre seus tecidos. Como resultado, o processo natural de hidratação é afetado, prejudicando o crescimento e o funcionamento adequados da planta (Didonet, 2024).

O déficit hídrico é mais frequente no período de seca, quando a água no solo se torna insuficiente para absorção pelas raízes, levando a uma redução das atividades fisiológicas. Esse estresse resulta em plantas menores e mais debilitadas. Caso a escassez de água persista por muito tempo, pode até causar a morte da planta (Cavalcante *et al.*, 2009).

Determinadas plantas conseguem lidar com a escassez de água por meio de diversos mecanismos, adotando adaptações tanto em sua fisiologia quanto em sua estrutura, o que permite que mantenham a sobrevivência e alcancem uma produtividade adequada mesmo em condições adversas (Xoconostle-Cazares *et al.*, 2010).

A aplicação de déficit hídrico controlado (50% da ETo), especialmente durante as fases de floração e enchimento de grãos na soja, ocasionou reduções significativas nos componentes de produtividade, como o número de vagens por planta, número de grãos por planta e o potencial produtivo total (Barbosa *et al.*, 2021).

Nos estudos realizados com a cultura do cártamo, ocorreu a sensibilidade e falta de água durante o estágio vegetativo, assim como seu desenvolvimento foi otimizado com irrigação, tanto nessa fase inicial quanto nos períodos reprodutivos e de formação de grãos. A limitação hídrica nesses estágios afetou diretamente o

crescimento, resultando em menor altura e diâmetro do caule das plantas, além de reduzir a biomassa fresca e seca, como também os componentes relacionados à produção e à produtividade de grãos e óleo (Daniel, 2022; Santos; Bassegio; Silva, 2017).

No milho, a interrupção da irrigação nos três estádios fenológicos limita a fotossíntese, a transpiração, a condutância estomática e diminui o potencial hídrico das folhas. As variáveis de produtividade e massa seca total se mostraram as mais eficientes para diferenciar os genótipos quanto à resistência à seca (Guimarães *et al.*, 2012).

No feijão-caupi, o índice de estresse hídrico Crop Water Stress Index (CWSI) foi uma ferramenta valiosa para monitorar o nível de hidratação, principalmente durante as fases reprodutivas que apresentaram mais vulnerabilidade em relação à falta de água. A limitação hídrica impacta de maneira expressiva a abertura dos estômatos, a transpiração e o processo de fotossíntese, o que acaba prejudicando o rendimento, ocasionando uma queda na produção de grãos (Carvalho *et al.*, 2022).

2.6. Estresse hídrico

O estresse pode ser entendido como uma alteração nos processos fisiológicos que ocorre devido a um ou mais fatores biológicos ou ambientais, os quais têm o potencial de causar danos. Esses danos podem se manifestar na forma de redução do crescimento, queda na produção (ou rendimento), e até mesmo na morte da planta ou de alguma de suas partes (Didonet, 2024).

A produção de alimentos tem sido afetada pela ação de diversos estresses bióticos e abióticos, o que torna essencial reduzir essas perdas para assegurar a segurança alimentar em meio às mudanças climáticas (Ajum *et al.*, 2011).

O estresse abiótico gerado por alterações nos componentes químicos e físicos do ambiente impacta não só as plantas, mas também a sociedade, reduzindo a disponibilidade de mão de obra, elevando os custos dos insumos alimentares e provocando instabilidades no mercado (Bianchi *et al.*, 2016).

A escassez de água impacta o desenvolvimento das plantas de várias maneiras, como pelo fechamento dos estômatos, murcha das folhas, redução da fotossíntese, dificuldade na germinação das sementes, alongamento das raízes, além do abortamento de flores e frutos, como também o surgimento de plantas com pecíolos alongados (Vyver; Peters, 2017).

As plantas que desenvolvem resistência para enfrentar períodos de seca fazem adaptações em sua estrutura, apresentando folhas com pelos ou espinhos e raízes mais longas e ramificadas (Campos; Santos; Nacarath, 2021).

A medição do consumo hídrico por meio da irrigação é essencial para determinar o nível de água presente no solo, possibilitando a avaliação da sua disponibilidade ao longo do ciclo de cultivo (Carvalho, 2018). A irrigação e a fertirrigação são práticas vantajosas para a agricultura, pois garantem a manutenção ideal de nutrientes e umidade no solo ao longo de todo o ciclo da cultura. Essa combinação favorece o desenvolvimento saudável das plantas, resultando em uma produção mais elevada e de melhor qualidade (Mota *et al.*, 2024). Para Da Silva e Christian (2024), definir o momento e a quantidade adequados para irrigar é o fator mais crucial no gerenciamento eficiente da água na irrigação.

2.7. Manejo da irrigação

Para que as plantas possam crescerem bem, elas precisam de água. Essa água pode vir da chuva ou de sistemas de irrigação, bem como manter o solo úmido, pois é importante para que as raízes consigam retirar a água que precisam. Por essa razão, estudar a evapotranspiração e calcular os coeficientes de cultura ajuda a usar a irrigação de forma inteligente, especialmente em lugares com escassez hídrica (José; Turco, 2003).

O níger é cultivado em regiões de clima moderado e tropical, sendo reconhecido como uma espécie vegetal típica de regiões temperadas que se ajustou a um ambiente semitropical (Ramadan, 2012). Essa adaptação se fez possível pela sua capacidade de adaptação a locais com pouca disponibilidade hídrica.

Soares *et al.* (2023) identificaram métodos de irrigação eficazes em relação à aplicação de estratégias para minimizar perdas e melhorar o uso dos recursos hídricos. Sendo que uma boa gestão de irrigação significa o uso racional e eficiente da água para as necessidades hídricas das plantas, buscando melhorar a produtividade e a utilização eficiente dos recursos hídricos (Aleman; Bertipaglia, 2015).

O manejo da irrigação no solo envolve decidir se a cultura deve ser irrigada, monitorando o conteúdo, armazenamento, tensão ou disponibilidade de água no solo.

Sensores eletrônicos, cada vez mais acessíveis e vantajosos, permitem medições automáticas e a automação criteriosa dos sistemas de irrigação. Para um uso eficiente da irrigação, é necessário aplicar técnicas específicas e procedimentos conhecidos como manejo da irrigação. Esse manejo deve indicar o tempo de funcionamento da motobomba e a quantidade de água a ser aplicada nas plantas, garantindo que a irrigação seja feita de maneira precisa e eficiente (Santos *et al.*, 2024).

Determinar a quantidade e o momento exatos para a irrigação é essencial no manejo da água. Isso previne a perda de água por percolação e a lixiviação de nutrientes devido ao excesso de irrigação, possibilitando que a planta consiga alcançar o seu máximo potencial produtivo (Braga *et al.*, 2022). Vale frisar que monitorar a umidade do solo requer diversas técnicas e equipamentos para medir a quantidade de água presente no solo (Da Silva *et al.*, 2024).

2.8. Evapotranspiração (ET)

A utilização de água por uma cultura pode ser representada pela evapotranspiração (ET), que inclui os processos de evaporação (E) e transpiração (T). Além da ET específica para a cultura em questão, também se calcula a evapotranspiração de referência (ET₀), que corresponde à demanda evaporativa da atmosfera (Allen, 1990).

Os elementos que afetam a evapotranspiração (ET) e o coeficiente de cultivo (K_c) são as variáveis climáticas que regulam a evapotranspiração de referência (ET₀), incluindo a intensidade da luz solar, a temperatura e, em menor grau, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento. Com o objetivo de uniformizar a abordagem para estimar a evapotranspiração (ET), em 1998, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) propôs a adoção de um método baseado em valores empíricos para o coeficiente de cultura (K_c). Esses valores são determinados tendo em vista as condições ideais de cultivo, ou seja, sem estresse hídrico (Allen *et al.*, 1998).

Para avaliar a quantidade ideal de água a ser aplicada na plantação, é importante entender o quanto a cultura consome e, em seguida, ponderar a eficiência da distribuição. O cálculo do uso hídrico específico de uma determinada cultura pode ser feito por meio da evapotranspiração real (Farrapeira *et al.*, 2023).

2.9. Evapotranspiração de referência (ET₀)

A evapotranspiração de referência (ET_0) representa uma abordagem indireta que permite estimar as demandas hídricas das plantas, isso ocorre após a aplicação de um coeficiente de cultura (desde que esse coeficiente seja conhecido para a vegetação em análise). Esse processo possibilita determinar a quantidade real de água perdida pela cultura, ou seja, a evapotranspiração específica da cultura (José; Turco, 2003).

As variações na evapotranspiração de referência (ET_0) afetam diretamente o fluxo de calor latente, o que, por sua vez, influencia o calor sensível e a temperatura da superfície. Tais alterações acabam desempenhando um papel importante nas mudanças climáticas, provocando transformações significativas no ambiente (Santos *et al.*, 2020).

Allen *et al.* (1998) evidenciam que a Evapotranspiração de Base (ET_0) pode ser definida como a quantidade de evapotranspiração que ocorre em uma cultura hipotética de grama de referência, a uma altura de 0,12 metros, com uma resistência superficial constante e constante de 70 segundos por metro (70 seg m^{-1}) e um albedo de 0,23.

Saber os coeficientes de plantio (K_c) e a evapotranspiração da cultura (ET_c) é fundamental para projetar e gerenciar sistemas de irrigação. Isso contribui para aumentar a produtividade das plantações e otimizar o uso de recursos hídricos, energia elétrica e equipamentos de irrigação (Miranda *et al.*, 2024).

2.10. Evapotranspiração da cultura (ET_c)

A perda de água da cultura (ET_c) pode ser estimada por meio de abordagens diretas e indiretas. Os métodos diretos envolvem o uso de lisímetros, áreas experimentais no campo, monitoramento da umidade do solo e técnicas de balanço hídrico em extensas regiões (Figueirêdo *et al.*, 2009).

Para estimar a evapotranspiração potencial de uma cultura (ET_c), Allen *et al.* (1998) sugerem a utilização de informações meteorológicas para calcular a evapotranspiração de referência da grama (ET_0). Isso é feito por meio da equação FAO Penman-Monteith e dos coeficientes de cultivo (K_c), que expressam a taxa relativa de evapotranspiração de uma cultura específica em comparação com a cultura de referência (ET_c/ET_0).

2.11. Coeficiente de cultivo (K_c)

A partir da relação entre a evapotranspiração (ET) de uma cultura cultivada sob condições ideais de manejo (incluindo o manejo da água) e a evapotranspiração de referência (E_{To}), obtém-se o coeficiente de cultivo (K_c), também conhecido como coeficiente de cultivo simplificado (Allen *et al.*, 1998; Allen, 1990; Doorenbos, 1979; Doorenbos; Pruitt, 1977).

Para calcular a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}), multiplica-se a evapotranspiração de referência (E_{To}) pelo coeficiente de cultura (K_c). O K_c é um valor que representa as características específicas da cultura, variando de acordo com o estágio de desenvolvimento fenológico. Já a E_{To} representa a necessidade hídrica de uma determinada região, sendo influenciada por fatores locais. Essas variáveis são fundamentais para o manejo eficiente da irrigação, garantindo que as plantas recebam a quantidade adequada de água em diferentes condições climáticas e de solo (Mantovani *et al.*, 2009).

Vale frisar que os procedimentos convencionais para calcular o coeficiente K_c são demorados e dispendiosos, bem como os valores são determinados por meio de experimentos realizados *in loco*. Tendo em vista tais restrições, ocorreu um interesse para o desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto capazes de estimar os K_c locais para culturas específicas (Costa *et al.*, 2023).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento

O estudo foi realizado em dois experimentos, sendo o primeiro conduzido em ambiente protegido (casa de vegetação) e o segundo em campo, na área experimental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, localizada em Cascavel, Paraná. As coordenadas geográficas do local são 24°59'20"S de latitude, 53°26'58"W de longitude e 787m de altitude. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região tem um clima subtropical úmido mesotérmico, com uma precipitação anual média de 1800 mm. A região é caracterizada por verões quentes e uma tendência de chuvas concentradas nos meses de verão. A temperatura média anual é de 21°C e a umidade relativa média do ar é de 75% (Nitsche *et al.*, 2019).

3.2. Caracterização dos experimentos

O substrato a ser usado para enchimento dos vasos foi obtido pela mistura de solo (Latossolo Vermelho distroférico) obtido próximo ao experimento e matéria orgânica em decomposição (húmus de vermicompostagem) na proporção de 10%. A mistura do substrato foi realizada de forma manual com auxílio de uma enxada. Essa mistura foi colocada em 32 vasos com a capacidade de 0,0188 m³ para cada experimento, que foram posteriormente umedecidos com um volume de água de 500 mL por meio de uma proveta graduada, com o intuito proporcionar ao solo a capacidade campo necessária por um período de 15 dias até que a planta crescesse e se adaptasse. A análise física e química do solo pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 Análise físico-química do solo.

Categoria	Parâmetros	Unidade	Valor
Análises Químicas	pH em CaCl ₂	-	6,13
	Carbono (C)	g/dm ³	36,3
	Matéria Orgânica (MO)	%	6,26
	Cálcio (Ca ²⁺)	cmol/dm ³	13,64
	Magnésio (Mg ²⁺)	cmol/dm ³	3,99
	Potássio (K ⁺)	cmol/dm ³	0,76
	Fósforo (P)	mg/dm ³	11,26
	Cobre (Cu)	mg/dm ³	1,85
	Ferro (Fe)	mg/dm ³	31,54
	Manganês (Mn)	mg/dm ³	145,6
	Zinco (Zn)	mg/dm ³	10,31
	Soma de Bases (SB)	cmol/dm ³	18,39
	Capacidade de Troca Catiônica (CTC)		
	pH 7,0	cmol/dm ³	22,32
Análises Físicas	Areia Total	%	15
	Silte	%	40
	Argila	%	45
	Classificação Textural	-	Argilo siltosa
	Água Disponível (AD)	mm/cm	1,35

Fonte: Pró Plantio Análises Agronômicas (2024).

Os experimentos em casa de vegetação e campo foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). Destaca-se que foram empregados oito diferentes tratamentos distribuídos aleatoriamente (Tabela 2), cada um com quatro repetições, resultando em um total de 32 parcelas experimentais.

Tabela 2 Discrição dos tratamentos e estágios de irrigação.

Tratamentos	Os estágios de crescimento Irrigados
T1	Vegetativo
T2	Reprodutivo
T3	Grãos
T4	Vegetativo e Reprodutivo
T5	Vegetativo e Grãos
T6	Reprodutivo e Grãos
T7	Nenhum dos Estágios
T8	(Vegetativo, Reprodutivo e Grãos)

3.3. Irrigação dos experimentos

As irrigações foram feitas manualmente, utilizando um bquer de plástico graduado em mililitros, conforme a necessidade hídrica da cultura. Essa necessidade foi determinada pelo cálculo de evaporação descrito na equação 1.

Em ambos os experimentos, os níveis de água para a irrigação foram definidos como um percentual da evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelo método de Thornthwaite e Camargo, em escala diária de tempo, com dados da temperatura medidos por meio de um termômetro eletrônico. O cálculo de evapotranspiração foi realizado por intermédio da equação que se segue:

A evapotranspiração potencial foi determinada pelos métodos de Thornthwaite, Camargo e Penman-Monteith. O método de Thornthwaite está representado pelas equações 1 a 4:

$$ETp = 16 * \left(10 * \frac{T_{ef}}{I} \right)^{\alpha} \quad (1)$$

Onde: $0 \leq T_m < 26,5^{\circ}\text{C}$

$$I = 12 * (0,2 * T_a)^{1,541} \quad (2)$$

$$\alpha = 0,49239 + 1,7912 * 10^{-2} * I - 7,711 * 10^{-5} * I^2 + 6,75 * 10^{-7} * I^3 \quad (3)$$

$$ETP = ETp * COR(\text{mm/mês}) \quad (4)$$

Onde:

COR = 30

ETp = Evapotranspiração

Tef = Temperatura efetiva

I = Irradiância

a = constante

Ta = temp. média anual normal

NDP = dias do período em questão

N = fotoperíodo do mês em questão

A irrigação foi realizada todos os dias, levando em conta a demanda hídrica da planta, de acordo com cada tratamento proposto na pesquisa. A demanda hídrica da planta tem como base a Equação 5 que foi calculada se multiplicando a

evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente de cultura (K_cFAO), conforme o que é adaptado pela FAO (Allen, 1998).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) (mm d⁻¹) continuará sendo calculada pela multiplicação da evapotranspiração de referência ET_o (mm d⁻¹) pelo coeficiente de cultura (K_c) (adimensional), tal como popularizado por Doorenbos e Pruitt (1977). O que é mencionado está representado pela equação a seguir.

$$ETC = Kc * ETO \quad (5)$$

Em que:

K_c - coeficiente de cultura, adimensional

ET_c - evapotranspiração da cultura, em *mm dia⁻¹*

ET_o - evapotranspiração de referência, em *mm dia⁻¹*

Para efeito do cálculo dos coeficientes de cultivo médios, o ciclo da cultura foi dividido em quatro fases fenológicas, definidas de acordo com a metodologia de Doorenbos e Pruitt (1975) da seguinte forma: I) fase inicial: do plantio até 10% de cobertura do solo; II) fase de crescimento: do final da fase inicial até a cobertura total do solo; III) fase intermediária: do estabelecimento da cobertura total do solo até o início da maturação dos frutos e IV) fase final: colheita.

Seguindo a metodologia proposta pela FAO, a estimativa dos valores de K_c Doorenbos e Pruitt (1977), bem como Allen *et al.* (1998) divide uma cultura anual em quatro etapas distintas do ciclo fenológico, como ilustrado na Figura 2. Nesta representação gráfica, a Fase 1 é destacada e vai desde o estágio inicial até o começo do pleno crescimento vegetativo (K_{c1}). A Fase 3 vai desde o estágio de floração até o início do preenchimento dos grãos (K_{c3}). Nas fases citadas, são normalmente apresentados os valores mais altos para o coeficiente de cultura (K_c).

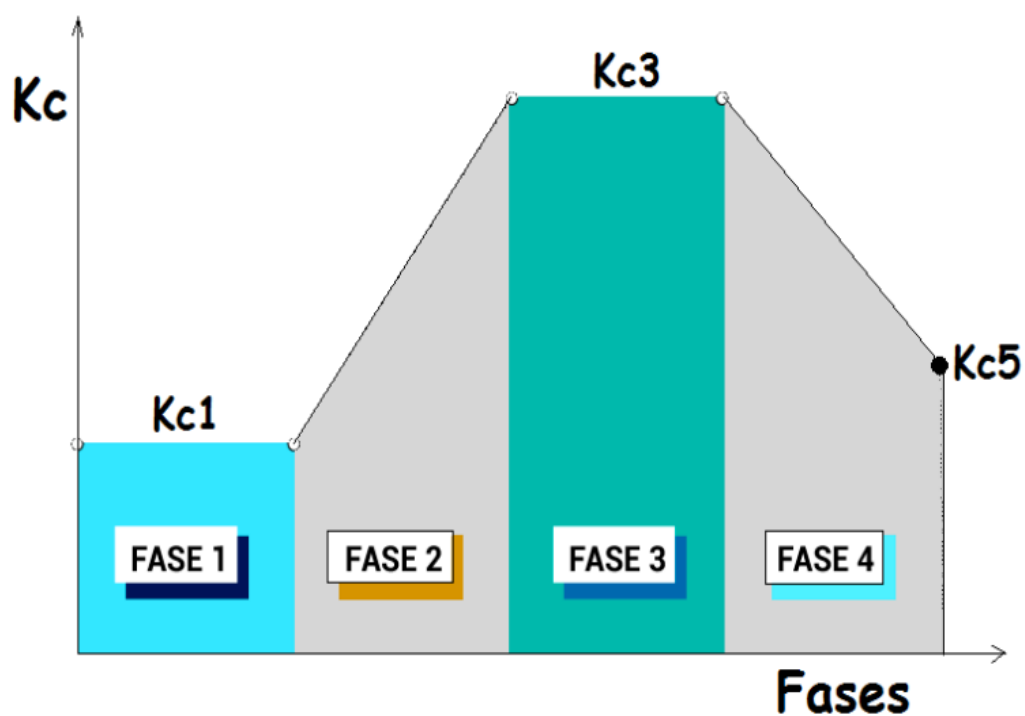


Figura 2. Evolução do coeficiente de cultura (K_c) ao longo do ciclo fenológico de culturas de ciclo anual, evidenciando-se as fases 1 ou inicial (K_{c1}), 3 ou de florescimento (K_{c3}) e o ponto da maturação fisiológica (K_{c5})

Fonte: Albuquerque *et al.* (2021).

Por não existirem valores tabelados para o K_c do níger, foram adaptados valores do K_c do algodão por meio de uma equação de regressão linear buscando obter resultados mais precisos, adaptados especificamente para as condições fenológicas do níger, tal como ilustrado na Figura 3.

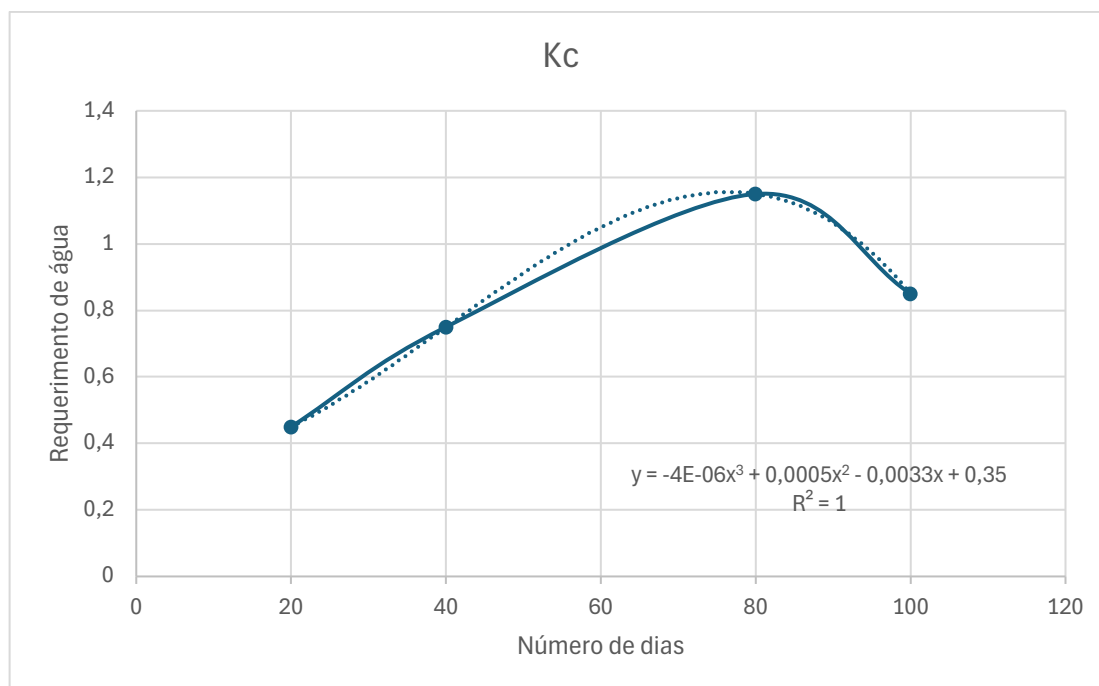


Figura 3. A aplicação de uma regressão linear para a determinação do coeficiente de cultura (Kc) do algodão, adaptado especificamente para as condições fenológicas do Níger

A precipitação pluviométrica para o experimento em campo foi determinada utilizando-se um pluviômetro Ville de Paris, instalado a 1,5 m da superfície do solo. Um pluviômetro é um dispositivo específico para medir a quantidade de precipitação em um determinado período. Embora existam vários tipos de coletores de água, nem todos são considerados pluviômetros. De acordo com Reichardt (1986), os diâmetros recomendados para a seção de captação de um pluviômetro variam entre 15 e 50 cm. Outros especialistas sugerem diâmetros entre 8 e 30 cm. A altura da lâmina d'água (h) coletada também é um fator importante a ser levado em conta (Equação 9).

$$h = 10 \cdot \frac{V}{A} \quad (9)$$

Onde:

h = altura de chuva *mm*

V = volume de água coletado (ml) ou (*cm³*)

Sendo: 1 ml = 1 *cm³*

A = área da seção de captação de água (*cm²*)

3.3.1. Experimento na casa de vegetação

A casa de vegetação apresentava estrutura do tipo túnel alto, feita em polietileno de baixa densidade, sem controle de temperatura. O experimento foi conduzido por um período de 120 dias, de 21 de fevereiro até 19 de junho de 2024. O local do experimento foi na área de pesquisa da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste).

A semeadura e os cuidados culturais foram executados manualmente. As sementes foram semeadas a uma profundidade de cerca de três centímetros, com 10 sementes por vaso. Após a emergência, foram realizados o desbaste, mantendo-se apenas duas plantas por tubo.

As condições climáticas ao longo do dia foram monitoradas em dois horários distintos: o primeiro às 7 horas da manhã e o segundo durante o período de maior intensidade da radiação solar, entre 12h e 15h. As medições foram realizadas com um termômetro digital posicionado no centro da casa de vegetação. Os dados obtidos estão exibidos na Figura 4.

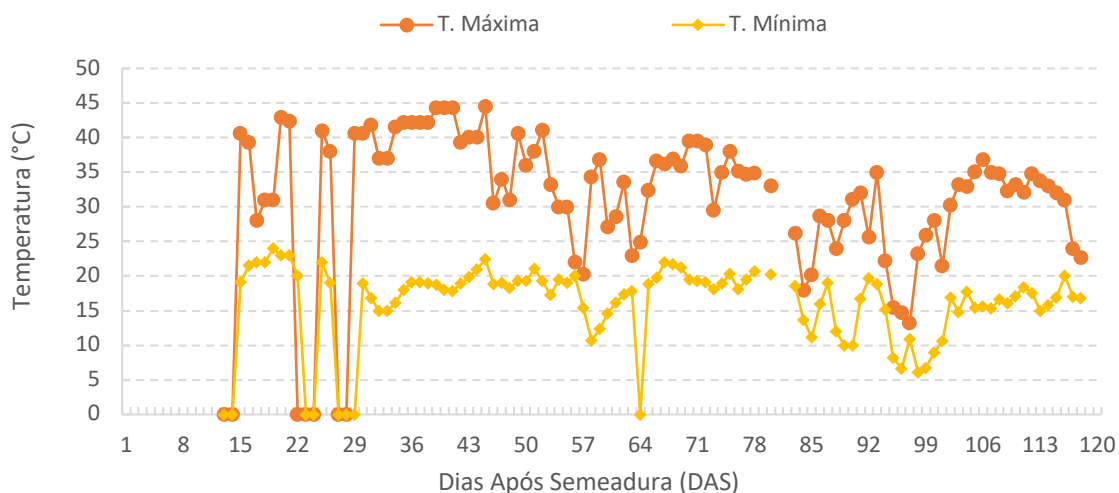


Figura 4. Temperatura máxima e mínima (°C) durante o desenvolvimento das plantas de níger em experimento conduzido em casa de vegetação.

3.3.2. Experimento em campo

O experimento foi conduzido na área experimental pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), em Cascavel. Na área experimental, não

ocorreu controle algum sobre as condições climáticas. O experimento também foi conduzido por um período de 120 dias, de 30 de abril até 27 de agosto de 2024.

As informações da temperatura foram coletadas diariamente por uma estação meteorológica situada nas proximidades da área onde o experimento foi conduzido, conhecida como estação de Santa Tereza do Oeste para os dados de temperatura. Esses dados foram disponibilizados por meio da plataforma IDR e Clima. Os dados da precipitação (Figura 5) foram coletados em pluviômetro de parri.

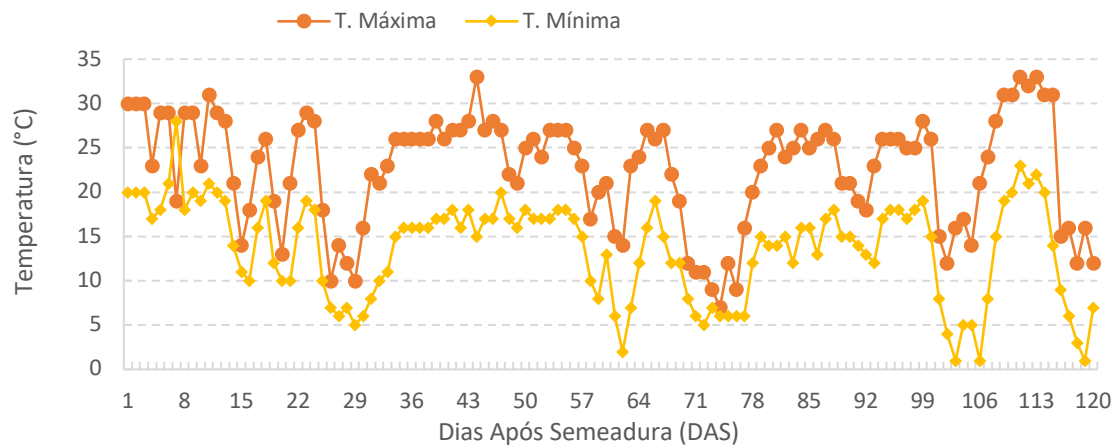


Figura 5: Temperatura máxima e mínima (°C) durante o desenvolvimento das plantas de níger em experimento conduzido em campo

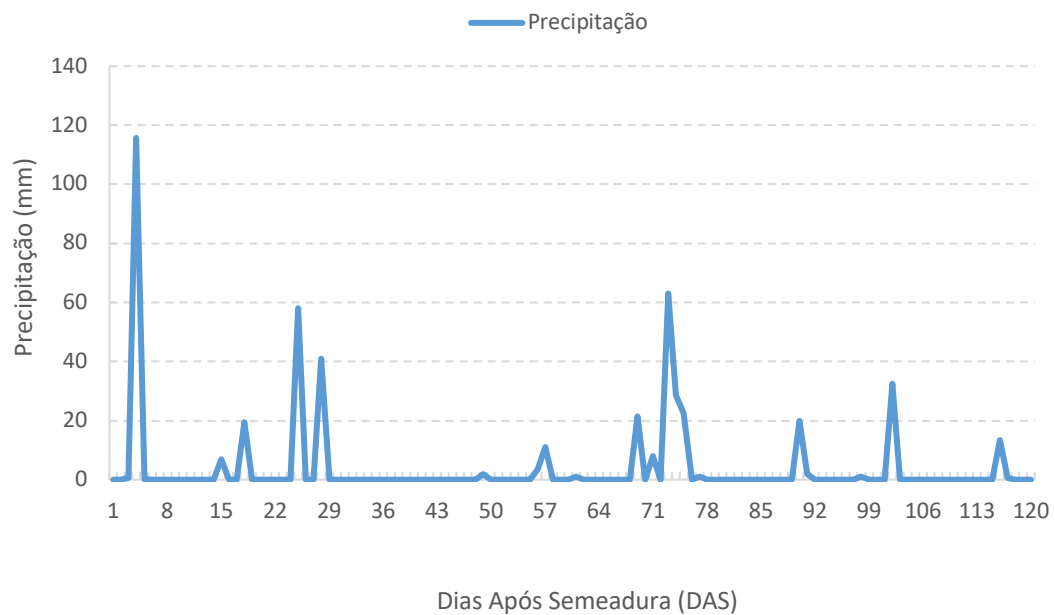


Figura 6: Valores médios da precipitação em (mm) durante o ciclo do níger

3.3.3. Parâmetros avaliados

Após a realização dos experimentos em casa de vegetação e campo, as características das plantas de níger foram avaliadas quanto aos parâmetros a seguir.

3.3.3.1. Altura de planta

A distância do solo até o ápice da planta será determinada no momento da colheita, medindo-se 4 plantas dentro de cada parcela por repetição, com régua graduada em centímetros (Melo *et al.*, 2018).

3.3.3.2. Número de folhas e de capítulos por planta

Na colheita, foram avaliadas 4 plantas por parcela, contando o número de folhas e o número de capítulos por planta (Rech, 2012).

3.3.3.3. Diâmetro do caule e capítulos

Para medir o diâmetro do caule de uma planta, foi utilizado um paquímetro digital. As hastes serão posicionadas ao redor do caule e ajustadas levemente até ficarem bem encaixadas, permitindo a leitura do valor na escala. A medição foi realizada na altura do colo da planta, logo acima do solo, pois essa é a região mais representativa do caule, visto que ocorre a maior parte do crescimento e da troca de nutrientes (Melo *et al.*, 2018).

3.3.3.4. Massa seca

Massa seca da parte aérea: no estágio de florescimento pleno, foram avaliadas quatro plantas em partes separadas (raiz e parte aérea) por parcela, que foram colocadas em saquinhos de papel e levadas a estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas e pesadas em balança de precisão com três casas decimais, para a determinação da massa seca por planta (Association of Official Agricultural Chemists [A.O.A.C.], 1984).

3.3.3.5. Número e peso de grãos

Para este procedimento, todas as sementes pertencentes foram contabilizadas por meio da contagem manual, em que cada semente da fração é contada individualmente, anotando-se o número total ao final. Foi necessário pesar a fração registrando o valor em gramas com a maior precisão possível nas casas decimais (BRASIL, 2009).

3.3.3.6. Massa de 1000 grãos

Após a contagem completa das sementes presentes na amostra, calculou-se o Peso de Mil Sementes (PMS) com base no peso total da fração de sementes puras e na quantidade de sementes identificadas, conforme a equação 10. Essa estimativa foi obtida aplicando a razão entre o peso da fração e o número total de sementes, multiplicada por mil (BRASIL, 2009; ISTA, 2025).

$$\text{Peso de Mil Sementes (PMS)} = \frac{\text{Peso da fração "semente pura"}}{\text{Total de sementes puras contadas}} \times 1000 \quad (10)$$

Para o experimento em casa de vegetação, não ocorreu a polinização pela ausência de agentes polinizadores.

3.3.3.7. Análise dos dados coletados

Os dados coletados foram averiguados por meio da análise de variância, bem como as médias referentes aos níveis de irrigação foram comparadas utilizando o teste de Tukey, adotando-se um nível de significância de 5% ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR, tal como especificado por Ferreira (2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento em casa de vegetação

Segue a Tabela 3 onde estão apresentadas características do sistema radicular em plantas de níger cultivadas na casa de vegetação, tendo em vista os diferentes estágios fenológicos. Foram avaliadas três variáveis: o comprimento da raiz (cm), a massa fresca (g) e a massa seca (g). Os tratamentos aplicados corresponderam aos diferentes estágios fenológicos isolados em combinação, que permitem avaliar irrigações isoladas e seus impactos sobre o ciclo de desenvolvimento da planta em ambiente coberto.

Tabela 3: Características de raiz em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados na casa de vegetação

Tratamentos		Raiz		
		Comprimento (cm)	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
Isolado	V	10,75ab	0,43c	0,60ab
	R	12,50ab	0,71b	0,31c
	F	6,25b	0,30c	0,28c
Combinado	VR	13,75ab	2,46a	1,05b
	VF	11,75ab	0,65b	0,49c
	RF	8,00ab	0,48b	0,17c
Todos os estágios	N	9,00ab	0,65b	0,25c
	T	17,00a	3,49a	1,80 ^a
CV (%)		39,16	42,57	31,75
F		0,04**	0,00**	0,00**

V- Vegetativo, R- Reprodutivo, F- Formação de grãos, VR- Vegetativo e reprodutivo, VF- Vegetativo e formação de grãos, RF- Reprodutivo e formação de grãos, N- Nenhum estágio Fenológico, T- Todos os estágios; CV%- Coeficiente de variação, F- F calculado; médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; **Significativo a 5% de probabilidade, ns não significativo a 5% de probabilidade.

A análise dos dados demonstrou que a combinação e continuidade dos estímulos fenológicos tiveram papel fundamental para o vigor do sistema radicular do níger. Nos tratamentos isolados, a formação de grãos foi menos eficiente em comprimento (6,25 cm), massa fresca (0,30 g) e massa seca (0,28 g). O tratamento reprodutivo teve melhor desempenho com o comprimento de 12,50 cm e massa fresca de 0,71 g, porém este acumulou menos massa seca de 0,31 g.

Comparando tratamentos combinados, o destaque foi o vegetativo e reprodutivo com comprimento de raiz (13,75 cm), massa fresca (2,46 g) e massa seca

(1,05 g). Em contrapartida, o tratamento reprodutivo e a formação de grãos apresentou menores valores entre os tratamentos combinados, com 8,00 cm de comprimento e 0,17 g de massa seca.

Na visão geral, o tratamento com todos os estágios se sobressaiu em relação aos demais parâmetros radiculares, com 17,00 cm de comprimento. O menor desempenho foi observado na formação de grãos, que limitou o crescimento e acúmulo de biomassa da raiz. Esses tratamentos diferiram entre si, mas não diferiram dos demais tratamentos.

Os menores valores observados para a massa fresca da raiz foram de 0,30 g e 0,43 g no tratamento formação de grãos, ao passo que os maiores valores foram 3,49 g e 2,46 g no tratamento de todos os estágios. Os tratamentos reprodutivo (0,71 g), vegetativo e formação de grãos (0,65 g), reprodutivo e formação de grãos 0,48 g e nenhum estágio fenológico (0,65 g) não diferiram entre si.

No tocante à massa seca, o maior valor observado foi para o tratamento com todos os estágios (1,80 g). Os menores valores observados foram para o tratamento reprodutivo (0,31 g), formação de grãos (0,28 g), vegetativo e reprodutivo (0,49), reprodutivo e formação de grãos (0,17 g) e nenhum estágio fenológico com (0,25 g) não se diferenciando entre si.

Os resultados citados estão de acordo com as observações de Arcoverde *et al.* (2017), quando relataram a redução do comprimento médio e da massa seca das raízes do níger em função da diminuição do potencial hídrico do substrato, utilizando soluções aquosas de Polietileno Glicol 6000 (PEG) para simular condições de estresse hídrico. Para os autores, a limitação de água afeta diretamente o desenvolvimento do sistema radicular, o que leva a uma redução progressiva do crescimento.

Ademais, o comportamento das raízes sob condições de estresse hídrico pode ser explicado por Hoogenboom *et al.* (1987) quando destacam que, diante da escassez de água no solo, as raízes das plantas tendem a se expandir em direção as camadas mais profundas, como uma estratégia de sobrevivência em busca das áreas com maior disponibilidade de umidade.

Outro fator importante a ser ponderado é o efeito do sombreamento dentro da casa de vegetação. Para Guerra *et al.* (2017), variações na intensidade de luz podem influenciar diretamente o metabolismo das plantas, o que afeta o funcionamento dos estômatos e, conseqüentemente, o acúmulo de biomassa. Mesmo que o estudo

proposto tenha focado nas fases fenológicas, é válido reconhecer que fatores ambientais, como a disponibilidade de luz, também desempenham papel relevante no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Foram avaliadas características do caule de plantas de níger cultivadas na casa de vegetação, as variáveis analisadas foram: comprimento (cm), diâmetro (mm), massa fresca (g) e massa seca (g), tal como evidenciado na Tabela 4.

Tabela 4: Características de caule em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados na casa de vegetação

Tratamentos		Caule			
		Comprimento (cm)	Diâmetro (mm)	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
Isolado	V	123,25bc	7,40bc	8,22b	5,22bc
	R	64,50ab	4,15c	7,89b	1,77ab
	G	50,25c	3,15c	8,10b	1,33c
Combinado	VR	140,00a	7,67a	29,57a	6,72a
	VG	120,25bc	5,97abc	10,68b	2,50ab
	RG	73,50ab	5,87abc	4,20b	1,31c
Todos os estágios	N	73,00ab	4,35ab	2,15b	1,53ab
	T	144,50a	8,85a	40,37a	8,89a
cv (%)		27,47	22,42	44,24	44,43
F		0,00**	0,00**	0,00**	0,00**

V- Vegetativo, R- Reprodutivo, G- Grãos, VR- Vegetativo e reprodutivo, VG- Vegetativo e grãos, RG- Reprodutivo e grãos, N- Nenhum estágio Fenológico, T- Todos os estágios; CV%- Coeficiente de variação, F- F calculado; médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; **Significativo a 5% de probabilidade, ns não significativo a 5% de probabilidade.

A escassez de água e de nutrientes no solo mostram impacto direto sobre o desenvolvimento estrutural das plantas, afetando o crescimento tanto da parte aérea quanto do sistema radicular. Situações de estresse hídrico podem reduzir o comprimento do caule, limitar o diâmetro, diminuir a eficiência fotossintética e reduzir o acúmulo de biomassa. Outrossim, aumentam as perdas de água por transpiração (Zhu *et al.*, 2022).

Na atual pesquisa, o comprimento do caule foi significativamente influenciado pelos diferentes tratamentos fenológicos. Nos tratamentos isolados, o menor caule foi registrado na formação de grãos (50,25 cm), com menor diâmetro (3,15 mm) e uma das menores massas secas (1,33 g). O tratamento reprodutivo também teve baixo

comprimento (64,50 cm) e pouca massa seca (1,77 g). Já o vegetativo mostrou um comprimento superior (123,25 cm) e diâmetro (7,40 mm), assim como acumulou a melhor biomassa.

Entre os tratamentos combinados, o destaque foi vegetativo e reprodutivo, com (140,00 cm) de comprimento e (6,72 g) de massa seca. O pior tratamento foi reprodutivo e formação de grãos, com apenas (73,50 cm) e (1,31 g) de massa seca.

Em termos gerais, os tratamentos vegetativo, reprodutivo e todos os estágios apresentaram respectivamente os maiores comprimentos de caule (140,00g e 144,50g), diâmetro (7,67 g e 8,85 g), peso da massa fresca (29,57 g e 40, 37 g) e massa seca (6,72 g e 8,89 g). Os menores comprimentos de caule (50,25 cm), diâmetro (3,15 mm), peso de massa fresca (8,10 g) e seca (1,33 g) do níger foram observados para o tratamento formação de grãos, além do tratamento reprodutivo e formação de grãos para a massa seca do caule (1,31 g). Foram observados ainda menores valores para o diâmetro do caule no tratamento reprodutivo (4,15 mm), assim como na massa fresca, com exceção dos tratamentos vegetativo e reprodutivo. Nos demais estágios, os outros tratamentos tiveram os menores pesos, todos com diferenças significativas.

Os dados de comprimento estão de acordo com os limites naturais descritos na literatura para a espécie do níger, que pode alcançar entre 0,5 e 1,5 metros de altura, como relatado por Getinet; Sharma (1996).

Outro fator relevante que influenciou os resultados foi a presença de áreas de sombreamento dentro da casa de vegetação. Essa condição ambiental estimulou o crescimento vertical das plantas, uma resposta fisiológica conhecida como estiolamento. Para Hartmann e Kester (1990), o estiolamento é caracterizado pelo alongamento excessivo da parte aérea, acompanhado por coloração amarelada ou esbranquiçada das plantas, devido à redução na produção de clorofila. George (1993) complementa que, durante o estiolamento, a planta redireciona sua energia para o crescimento em altura, enquanto o desenvolvimento foliar e a formação do sistema fotossintético ficam comprometidos.

A coloração do caule no experimento variou entre roxo escuro e verde claro, com cerca de 1,5 cm de espessura na base, o que está de acordo com as características morfológicas descritas por Getinet e Sharma (1996).

Estudos anteriores, como o de Arcoverde *et al.* (2017), já demonstraram que a massa seca da parte aérea do níger tende a diminuir à medida que o potencial hídrico

é reduzido, utilizando soluções de Polietileno Glicol 6000 (PEG) para simular o estresse hídrico.

Os dados sobre o número de capítulos por planta, o diâmetro dos capítulos (mm) e o número de folhas das plantas cultivadas na casa de vegetação estão exibidos na Tabela 5.

Tabela 5: Características de capítulo e folhas em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados na casa de vegetação

Tratamentos		Capítulo e folha		
		Nº de Capítulos	Diâmetro de Capítulos (mm)	Nº de folhas
Isolado	V	7,75ab	5,95a	22,25ab
	R	6,75ab	5,30a	16,00b
	G	3,25b	3,00a	10,25b
Combinado	VR	15,00ab	6,20a	34,00a
	VG	8,00ab	5,55a	15,00b
	RG	8,50ab	4,27a	14,25b
Todos os estágios	N	6,50b	5,32a	7,75b
	T	20,25a	6,72a	35,50a
cv (%)		61,42	39,82	37,01
F		0,01**	0,31 ^{ns}	0,00**

V- Vegetativo, R- Reprodutivo, G- Grãos, VR- Vegetativo e reprodutivo, VG- Vegetativo e grãos, RG- Reprodutivo e grãos, N- Nenhum estágio Fenológico, T- Todos os estágios; CV%- Coeficiente de variação, F- F calculado; médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; **Significativo a 5% de probabilidade, ns não significativo a 5% de probabilidade.

Nos estágios isolados, o menor número de capítulos ocorreu no tratamento formação de grãos (3,25), que também teve menor diâmetro (3mm) e menor número de folhas (10,25). O tratamento vegetativo teve o melhor desempenho com (7,75) capítulos (5,95 mm) de diâmetro e (22,25) folhas.

Entre os tratamentos combinados, o tratamento vegetativo e reprodutivo se destacou com (15) capítulos (6,20 mm) de diâmetro e (34) folhas, enquanto o tratamento reprodutivo e formação teve resultados mais baixos (8,5) capítulos (4,25 mm) de diâmetro e (14,25) folhas.

No panorama geral para o tratamento, todos os estágios tiveram maior número de capítulos (20,25) e número de folhas (35,50), o que não diferiu do tratamento vegetativo e reprodutivo (34,00). Os números de capítulos foram observados no

tratamento, na formação de grãos (3,25) e nenhum estágio fenológico (6,50). No diâmetro de capítulo, não ocorreu diferença significativa.

Com relação ao número de folhas, as menores quantidades foram no tratamento reprodutivo (16,00), formação de grãos (10,25) vegetativos e formação de grãos (15,00) reprodutivos, como também na formação de grãos (14,25) e nenhum estágio fenológico (7,75).

Esses resultados estão abaixo dos encontrados por Bottega *et al.* (2013), quando avaliaram diferentes épocas de semeadura na região sul do Mato Grosso do Sul e identificaram um número significativamente maior de capítulos por planta nas semeaduras realizadas nos meses de janeiro e fevereiro, com uma média de 59 capítulos. Esse aumento foi atribuído às condições climáticas mais favoráveis para o desenvolvimento do níger durante esses períodos.

De maneira semelhante, Mohan Kumar *et al.* (2011), em estudo conduzido na Índia, verificaram que as semeaduras feitas na primeira e segunda quinzena de junho, época caracterizada por clima chuvoso e elevada umidade, resultaram nas maiores alturas de plantas e no maior número de ramos por planta. Durante esse período, também foi registrado o maior número de capítulos por planta, com média de 40 capítulos. Em contrapartida, as semeaduras realizadas na segunda quinzena de fevereiro, durante o inverno, apresentaram o menor número de capítulos, com uma média de apenas 21. Tais resultados encontram-se mais próximos dos identificados no estudo desenvolvido, evidenciam o quanto o período de plantio e as condições climáticas são determinantes para o desenvolvimento e a produtividade do níger.

Com relação ao número de folhas, Kurenkova *et al.* (2024) realizaram um estudo na região central da Federação Russa, cujo objetivo foi avaliar o potencial do níger para fins forrageiros. Durante a última contagem do experimento, o número de folhas por planta variou de 6 a 29, indicando também grande variabilidade dependendo das condições ambientais.

4.2. Experimento em campo (ambiente aberto)

Podem ser observados na Tabela 6 dados do sistema radicular das plantas de níger cultivadas em campo. Foram avaliadas as variáveis comprimento da raiz (cm), massa fresca (g) e massa seca (g). Os tratamentos aplicados corresponderam aos diferentes estágios fenológicos isolados e em combinação. Isso permite avaliar as

irrigações isoladas e os seus impactos sobre o ciclo de desenvolvimento da planta em ambiente aberto.

Tabela 6: Características de raiz em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados em ambiente aberto.

Tratamentos		Raiz		
		Comprimento (cm)	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
Isolado	V	14,50a	1,73ab	0,35c
	R	10,62a	1,46c	0,31c
	G	14,33a	2,63abc	0,52abc
Combinado	VR	12,25a	1,91ab	0,34c
	VG	16,33a	1,57c	0,39abc
	RG	11,66a	1,98ab	0,36ab
Todos os estágios	N	17,66a	4,23a	0,82bc
	T	16,33a	3,65bc	0,85 ^a
cv (%)		29,96	36,43	40,63
F		0,25 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}

V- Vegetativo, R- Reprodutivo, G- Grãos, VR- Vegetativo e reprodutivo, VG- Vegetativo e grãos, RG- Reprodutivo e grãos, N- Nenhum estágio Fenológico, T- Todos os estágios; CV%- Coeficiente de variação, F- F calculado; médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; **Significativo a 5% de probabilidade, ns não significativo a 5% de probabilidade.

Entre os tratamentos isolados, o comprimento da raiz foi menor no tratamento reprodutivo com (10,62 cm), o maior valor foi (14,50) no vegetativo. A menor massa fresca foi também do reprodutivo com (1,46 g), enquanto o tratamento formação de grãos teve maior acúmulo com (2,63 g). Na massa seca, o destaque negativo foi para o tratamento reprodutivo com (0,31 g) e a maior média foi no tratamento formação de grãos com (0,52g).

Nos tratamentos combinados, vegetativo e formação de grãos, teve maior comprimento (16,33 cm), o menor foi no reprodutivo e formação com (11,66 cm). Em biomassa, o reprodutivo e formação obteve melhor desempenho com (1,98 g) de massa fresca, enquanto o vegetativo e reprodutivo teve menor média com (0,34 g).

No panorama geral, para o comprimento da raiz não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos avaliados. No peso da massa fresca das raízes, o tratamento nenhum estágio fenológico mostrou o maior valor (4,23 g) e os menores valores foram obtidos para os tratamentos reprodutivo (1,46 g) e vegetativo e formação de grãos (1,57 g). Os maiores valores da massa seca foram obtidos no

tratamento de todos os estágios fenológicos (0,85 g) e os menores valores para os tratamentos vegetativo (0,35 g), reprodutivo (0,31g) e vegetativo e reprodutivo (0,34 g) diferindo-se entre si.

Esse padrão observado pode estar relacionado ao fato de que um sistema radicular mais desenvolvido permite que a planta encontre com maior capacidade os recursos disponíveis no solo, como água e nutrientes. Essa modificação é necessária para garantir um crescimento mais vigoroso e pode refletir positivamente na produtividade da cultura, como apontado por Lynch *et al.* (2021).

A relação entre disponibilidade hídrica e desenvolvimento radicular é discutida na literatura. Gordin *et al.* (2015) verificaram que a redução da água disponível no substrato resultou em menor comprimento médio das raízes e da parte aérea de plântulas de níger, independentemente do teor de umidade avaliado. Observaram ainda que o suprimento hídrico influenciou de maneira significativa o desenvolvimento das plântulas, o que afeta diretamente variáveis como comprimento da parte aérea, comprimento das raízes e massa seca.

Gordin *et al.* (2015) reforçaram essa mesma tendência ao demonstrar que plântulas de níger cultivadas em substratos com maior disponibilidade de água apresentaram maior desenvolvimento tanto em comprimento quanto em biomassa seca. Tais dados vão ao encontro dos resultados do presente experimento, indicando que as condições hídricas e o manejo fenológico exercem influência determinante sobre o desempenho inicial da cultura.

As características do caule das plantas de níger no experimento em campo foram analisadas com base nas variáveis comprimento (cm), diâmetro (mm), massa fresca (g) e massa seca (g), cujos resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Características de caule em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados em ambiente aberto.

Tratamentos		Caule			
		Comprimento (cm)	Diâmetro (mm)	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
Isolado	V	73,66a	5,50ab	24,35ab	2,89c
	R	69,75a	6,42ab	20,11c	2,94c
	G	78,33a	4,90b	30,85abc	4,56ab
Combinado	VR	72,25a	5,77ab	22,10c	2,97c
	VG	68,33a	6,36ab	21,24c	3,77ab
	RG	82,00a	7,50ab	31,93abc	4,41ab
Todos os estágios	N	79,33a	8,53a	41,38bc	6,84bc
	T	88,33a	7,76ab	46,6a	8,19a
cv (%)		11,66	21,99	26,30	31,22
F		0,06 ^{ns}	0,02 ^{**}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}

V- Vegetativo, R- Reprodutivo, G- Grãos, VR- Vegetativo e reprodutivo, VG- Vegetativo e grãos, RG- Reprodutivo e grãos, N- Nenhum estágio Fenológico, T- Todos os estágios; CV%- Coeficiente de variação, F- F calculado; médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; **Significativo a 5% de probabilidade, ns não significativo a 5% de probabilidade.

Nos tratamentos isolados, o comprimento do caule variou pouco, sendo mais alto no tratamento formação de grãos (78,33 cm), mais baixo no tratamento reprodutivo (69,75 cm). A massa seca foi bastante baixa entre os três, com destaque negativo para o tratamento vegetativo (2,89 g). O diâmetro foi menor no tratamento formação de grãos (4,90 mm) e mais expressivo no tratamento reprodutivo (6,42 mm).

Entre os tratamentos combinados, o melhor desempenho foi no tratamento reprodutivo e formação de grãos (82,00 cm) de comprimento (31,93 g) de massa fresca e 4,41 g de massa seca. O menor desempenho foi no tratamento vegetativo e reprodutivo, que teve comprimento de 72,25 cm, menor massa fresca (22,10 g) e massa seca inferior (2,97 g).

Tendo em vista os oito tratamentos, o comprimento do caule não mostrou diferença significativa entre os tratamentos avaliados. Os maiores valores obtidos no diâmetro do caule foi para nenhum dos estágios fenológicos (8,53 mm) e o menor diâmetro foi para a formação de grãos (4,90 mm). Para o peso de massa fresca, nenhum dos estágios fenológicos mostrou maior peso do caule (46,6 g) e os menores pesos foram obtidos para o tratamento reprodutivo (20,11 g), vegetativo e reprodutivo (22,10 g), bem como o vegetativo e formação de grãos (21,24 g). Os maiores valores de massa seca foram obtidos para todos os estágios fenológicos (8,19 g) e os

menores pesos para vegetativo (0,35 g), reprodutivo (0,31g) e vegetativo e reprodutivo (0,34 g) diferindo-se entre si.

Gordin *et al.* (2015) verificaram a influência direta da disponibilidade de água no substrato sobre o crescimento de plântulas de níger, o que afeta o comprimento da parte aérea, o comprimento das raízes e a massa seca. Esses autores reforçam que a limitação hídrica é um fator crítico capaz de interferir em múltiplas fases do desenvolvimento da planta.

Fatores ambientais, como a disponibilidade de luz, também influenciam diretamente as características estruturais das plantas. Para Villa *et al.* (2019), ambientes com exposição total ao sol ou com até 25% de sombreamento favorecem o desenvolvimento de mudas de fisális, independentemente da espécie. Nessas condições, os autores observaram menor taxa de mortalidade e aumento no diâmetro do colo das plantas, o que impacta positivamente a produtividade final da cultura.

Mauad *et al.* (2015), ao avaliarem a produção de matéria seca na parte aérea de plantas de níger semeadas em março, observaram resultados maiores aos encontrados no estudo proposto. Os autores relataram que o acúmulo máximo de matéria seca por planta ocorreu aos 76 dias após a emergência, atingindo 14,5 g por planta. Kasle *et al.* (2020), em experimento realizado com espaçamento de 45 x 15 cm entre as plantas, obtiveram um acúmulo médio de matéria seca de 32,68 g por planta.

Ferreira *et al.* (2025) destacam que um período de sete dias de déficit hídrico foi suficiente para aumentar a biomassa total e melhorar a eficiência no uso da água, indicando que, em certos casos, um leve estresse pode funcionar como fator estimulador do desenvolvimento vegetal.

Os dados sobre o número de capítulos por planta, o diâmetro dos capítulos (mm) e o número de folhas no experimento em campo podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8: Desenvolvimento de capítulos e número de folhas em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados em ambiente aberto

Tratamentos		Capítulo e folha		
		Nº de Capítulos	Diâmetro de Capítulos(g)	Nº de folhas
Isolado	V	9,00c	5,60a	26,25ab
	R	9,50c	6,55a	22,75c
	G	12,25ab	5,04a	32,7abc
Combinado	VR	10,00c	6,63a	23,25c
	VG	16,25ab	7,30a	33,75abc
	RG	14,25ab	7,73a	35,00abc
Todos os estágios	N	20,75b	6,67a	42,25bc
	T	33,00a	7,95a	49,00a
cv (%)		28,62	29,59	23,47
F		0,00**	0,04**	0,00**

V- Vegetativo, R- Reprodutivo, G- Grãos, VR- Vegetativo e reprodutivo, VG- Vegetativo e grãos, RG- Reprodutivo e grãos, N- Nenhum estágio Fenológico, T- Todos os estágios; CV%- Coeficiente de variação, F- F calculado; médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; **Significativo a 5% de probabilidade, ns não significativo a 5% de probabilidade.

Nos tratamentos isolados, o menor número de capítulos foi identificado no tratamento vegetativo com (9,00) o maior foi na formação de grãos com (12,25). No número de folhas, o tratamento vegetativo teve mais (26,25), enquanto o reprodutivo teve o menor valor (22,75). O diâmetro dos capítulos foi maior no reprodutivo (6,55 mm) e o menor foi na formação de grãos com 5,04 mm, ainda que sem diferença estatística entre os tratamentos.

Entre os tratamentos combinados, o destaque foi para o tratamento reprodutivo e formação de grãos, com (14,00) capítulos, (7,73 mm) de diâmetro e 35,00 folhas, enquanto vegetativo e reprodutivo obteve os menores valores no grupo.

De forma geral, o tratamento de todos os estágios apresentou diferenças significativas com o maior número de capítulos (33,00), e os menores números foram obtidos nos tratamentos vegetativo (9,00), reprodutivo (9,50) e vegetativo e reprodutivo (10,00). O diâmetro dos capítulos não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Os maiores números de folhas foram obtidos para o tratamento todos estágios fenológicos (49,00g), enquanto os menores foram para os tratamentos reprodutivo (22,75 g) e vegetativo e reprodutivo (23,25 g) diferindo-se entre si.

A variação de tamanho se difere da faixa de diâmetro descrita na literatura para

a espécie. Getinet e Sharma (1996) proferem que o diâmetro de capítulos pode variar entre 15 e 50 mm, tendo em vista a estrutura total dos capítulos, que possuem flores do tipo raio com comprimento entre 5 e 20 mm.

Os Resultados do número de folha diferem dos descritos por Kasle *et al.* (2020) quando avaliaram diferentes densidades de plantio e observaram que o maior número de folhas funcionais foi obtido com espaçamento de 45 x 15 cm entre plantas, alcançando uma média de 83,39 folhas por planta. Os autores destacaram que o arranjo espacial pode influenciar diretamente o desenvolvimento da parte aérea da cultura.

Um fator que contribuiu com o aumento do número de capítulos no tratamento de todos os estágios foi a maior ramificação das plantas. Bottega *et al.* (2013), em estudo conduzido na região sul do Mato Grosso do Sul, relataram uma relação direta entre número de ramificações e número de capítulos por planta, com média máxima de 40 capítulos nas plantas mais ramificadas. No entanto, é importante destacar que, segundo os mesmos autores, essa condição não foi diretamente relacionada à produtividade final, uma vez que as plantas com menor número de capítulos foram as que tiveram maior produção de sementes.

Foram analisados o número de sementes por planta, o peso total das sementes (g) e a massa de 1000 grãos (g) do níger sob diferentes estágios fenológicos em condições de campo, tal como indicado na Tabela 9.

Tabela 9: Indicadores de produtividade em plantas de níger sob diferentes estratégias de irrigação em estágios fenológicos isolados e combinados em ambiente aberto

Tratamentos		Produtividade		
		Nº de sementes	Peso das sementes (g)	Massa de 1000 grãos(g)
Isolado	V	193,00a	0,77a	3,83a
	R	202,00a	1,04a	5,78a
	G	291,75a	1,49a	5,23a
Combinado	VR	313,00a	1,06a	3,67a
	VG	315,50a	1,09a	3,18a
	RG	399,75a	1,92a	5,07a
Todos os estágios	N	454,75a	1,91a	4,31a
	T	519,25a	2,10a	4,08a
cv (%)		56,14	49,79	27,74
F		0,09 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}

V- Vegetativo, R- Reprodutivo, G- Grãos, VR- Vegetativo e reprodutivo, VG- Vegetativo e grãos, RG- Reprodutivo e grãos, N- Nenhum estágio Fenológico, T- Todos os estágios; CV%- Coeficiente de variação, F- F calculado; médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; **Significativo a 5% de probabilidade, ns não significativo a 5% de probabilidade.

Nos tratamentos isolados, o menor número de sementes foi do tratamento vegetativo (193,00), com o menor peso (0,77 g) e menor peso de mil grãos (3,83 g). O reprodutivo também teve baixa produtividade (202,00) de sementes (1,04 g), embora com maior massa de mil grãos (5,78 g). A formação de grãos mostrou desempenho melhor em número (291,75) e peso (1,49 g) não superando o peso de mil grãos do tratamento reprodutivo.

Entre os tratamentos combinados, o tratamento reprodutivo e formação de grãos obteve o melhor resultado, com (399,75) sementes, (1,92 g) de peso das sementes e massa de mil grãos (5,07 g). O pior desempenho foi no tratamento vegetativo e reprodutivo, com (313) sementes, (1,06 g) de peso de sementes e (3,67 g) de massa de 1000 grãos.

No geral, todos os tratamentos avaliados não tiveram diferenças significativas nos indicadores da produtividade.

Esse comportamento sugere que o manejo de todas as fases de desenvolvimento da cultura favorece o potencial produtivo do níger. Tendências próximas foram observadas por Mauad *et al.* (2015) que, ao avaliarem a produção de

matéria seca e o acúmulo de nutrientes na parte aérea do níger, relataram que o pico de produção de grãos ocorreu 82 dias após a emergência das plantas, atingindo um rendimento de 1,16 g por planta.

Ramdan e Morsel (2002) mencionam que as sementes têm coloração preta com um brilho característico e são extremamente leves, com peso variando entre 3 e 5 g para cada mil grãos, sendo esses os dados que mais se aproximam dos resultados encontrados na pesquisa proposta.

Fatores ambientais e o manejo da água ao longo do ciclo da cultura têm papel decisivo na produtividade. O estresse hídrico pode afetar negativamente o desenvolvimento das plantas ainda nas fases iniciais, levando à perda de plântulas e exigindo replantio, o que, por consequência, compromete a produção final de grãos. Essa relação entre o vigor das sementes e o rendimento das culturas foi amplamente discutida por Tekrony e Egli (1991), quando ressaltaram os impactos da qualidade das sementes sobre a produtividade agrícola.

Shaw *apud* Kasele *et al.* (1994) mencionam que o milho tem relativa tolerância à falta de água durante o desenvolvimento vegetativo. Tornou-se altamente sensível ao déficit hídrico nas fases de florescimento e o enchimento de grãos, o que pode resultar em quedas significativas de produtividade. O níger mostrou resultados semelhantes.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam que o déficit hídrico em estágios fenológicos distintos exerce influência direta sobre o desenvolvimento vegetativo e produtivo do níger. De maneira constante, as plantas submetidas à irrigação em todos os estágios apresentaram maior vigor radicular, maior acúmulo de biomassa no caule, maior número de capítulos e folhas, além de alcançarem a melhor produtividade em termos de número de sementes e massa total. O estresse hídrico isolado, especialmente na fase de formação de grãos, mostrou-se mais limitante ao crescimento e rendimento da cultura.

Esses resultados indicam que a adoção de um manejo hídrico contínuo ao longo de todo o ciclo do níger é essencial para maximizar seu desempenho agrônomo. A irrigação em todas as fases de desenvolvimento da planta garante o crescimento equilibrado e potencializa resposta às variações ambientais. Apesar disso, o níger se mostrou adaptável inclusive em condições de déficit hídrico total em ambiente aberto.

Mesmo que os resultados permitam chegar a essas considerações, a análise estatística revelou elevados valores no coeficiente de variação, sugerindo a necessidade de futura repetição do experimento com acréscimo do número de repetições entre os tratamentos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Gás natural**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/processamento-de-gas-natural/gas-natural>. Acesso em: 25 jan. 2025.

Agroadvance. **Impactos das mudanças climáticas na agricultura e como enfrentá-los**. Disponível em: <<https://agroadvance.com.br/blog-impactos-das-mudancas-climaticas-no-agro/>>. Acesso em: 10 out. 2024.

ANJUM, S.A., *et al.* Morphological, Physiological and Biochemical Responses of Plants to Drought Stress. **African Journal of Agricultural Research**, 6, 2026-2032. (2011).

ALEMAN, C. C.; BERTIPAGLIA, R. INFLUÊNCIA DA LÂMINA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE GIRASSOL. **Colloquium Agrariae**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 25-30, 20 dez. 2015. Associação Prudentina de Educação e Cultura (APEC). <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2015.v11.n2.a123>.

ALLEN, R. G. A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.112, n.4, p.348-368, 1986.

ALLEN, R. G. REF-ET: reference evapotranspiration calculation software. Version 2.0. Moscow: **University of Idaho**, 2000. CDROM.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **Rome: FAO**, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 56)

ALLEN, S. J. Measurement and estimation of evaporation from soil under sparse barley crops in Northern Syria. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.49, n.4, p.291-309, 1990.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; COELHO, E. A. Planilha para obtenção de coeficiente de cultura (Kc) para culturas de ciclo anual, segundo método FAO, para as condições climáticas brasileiras. Sete Lagoas: **Comunicado Técnico** 254, 2021.

AHMADI, A., *et al.* SolarET: a generalizable machine learning approach to estimate reference evapotranspiration from solar radiation. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 295, p. 108779, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108779>.

ANP – Agência Nacional de Petróleo. Resolução nº14 de 11 de maio de 2012, Diário Oficial da União, 18 de maio [online] disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao>, Acessado em: 4 de setembro de 2024.

AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. **14th Edition**, AOAC, Arlington. 1984.

ARAUJO, N. H. V. de; HENRIQUES, F. dos S; LOURENÇO, A. R. Fontes de energia renovável. Bolsista de Valor: **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, n. 1, p. 165-171, 2012.

ARCOVERDE, S. N. S., *et al.* GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE NIGER SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS DO SUBSTRATO E REGIMES DE LUZ. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 344-353, 1 nov. 2017. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v25i4.803>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Relatório Anual 2021** ABEEólica, 2022.

BARBOSA, J. R. *et al.* Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 4200-4210, 8 fev. 2021. INOVAGRI. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v14n401196>.

BESSA, O. R. *et al.* Rendimento de extração mecânico: química e caracterização físico: química do óleo de niger (*Guizotia abyssinica*). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL**, 5., 2008, Lavras. Anais... Lavras: UFLA, 2008.

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. de A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, 5(4), 15–32. (2016).

BOTTEGA, S.P. *et al.* Desempenho agrônômico do níger em função da época de semeadura para a Região Sul do Mato Grosso do Sul. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, v. 19, ns.1/2, p. 88-94, 2013.

BRAGA, M. B; FELTRIN, A. L; BORGES, L. C. Irrigação. Produção Integrada do Tomateiro Tutorado: Subsídios para a Produção Integrada. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2022. cap. 7, p. 102-116. Disponível em: Embrapa - Produção Integrada do Tomateiro Tutorado. Acesso em: 13 ago. 2024.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Amostragem. In: Regras para Análise de Sementes. Brasília, DF: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. Cap.12, p.345-347

CALVIN, K. *et al.* IPCC, climate change 2023. **Ipcc, 2023**: Climate Change 2023, [S.L.], p. 1-34, 25 jul. 2023. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <http://dx.doi.org/10.59327/ipcc/ar6-9789291691647.001>.

Carneiro, M.A.C. *et al.* Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia** **67**. 2008.

CARVALHO, E. de O. T de. *et al.* CROP WATER STRESS INDEX OF COWPEA UNDER DIFFERENT WATER AVAILABILITY LEVELS IN CASTANHAL-PA. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 711-721, set. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252022v35n322rc>.

CARVALHO, A. J. *et al.* Coeficiente de cultura, produção de matéria seca e eficiência do uso da água em capim-tifton 85 no Semiárido Mineiro. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba: Studies Publicações e Editora Ltda., v. 21, n. 6, p. 01-22, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n6-246.

CARVALHO, J. F. de. **Combustíveis fósseis e insustentabilidade**. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 60, n. 3, p. 30-33, set. 2008.

CARVALHO, V. *et al.* Balanço de água no solo para o cultivo de lúpulo no Município de Resende. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, 20., 2018, Rio de Janeiro.

CAVALCANTE, A. C. R.; CAVALLINI, M. C.; LIMAR, N.R.C.B. (2009). Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras. **Documentos/Embrapa Caprinos**, Sobral-CE. 50p.

COSTA, J. O. *et al.* Evapotranspiração, coeficiente de cultura e eficiência do uso da água de culturas frutíferas irrigadas no Projeto Jaíba. 2023

DANIEL, C. Déficit hídrico em estágios fenológicos no cultivo de cártamo. 66. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2022.

DA SILVA, T.R.; MAXIMIANO, C.V. Manejo da irrigação usando sensor irrigas® em função da textura do solo, para as principais regiões do Distrito Federal (Agronomia). **Repositório Institucional**, v. 3, n. 1, 2024.

DE, G. **Geração de energia no Brasil tem expansão recorde de 18,7%**. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2024-07/geracao-de-energia-no-brasil-tem-expansao-recorde-de-187>>.

DIAS, R. O PAPEL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO CUMPRIMENTO DOS ODS: oportunidades e desafios. **Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar - Issn 2675-6218**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 11-2, 27 jan. 2024. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar. <http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v5i1.4845>.

DIDONET, A. D. **Estresse Abiótico**. Embrapa. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/697072/1/doc-239-p25.pdf>. Acesso em 11 dez. 2024.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. (1977). Necessidades de água da cultura. **Papel de Irrigação e Drenagem da FAO** No. 24.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirement's: Revised, Roma: FAO, 1975. 144 p. Irrigation and Drainage Paper, 24.

DOUMON, N. Y. **Transitioning to renewable energy: Challenges and opportunities | Institute of Energy and the Environment**. Disponível em: <<https://iee.psu.edu/news/blog/transitioning-renewable-energy-challenges-and->

opportunities>.

ELETA, M; ORTIZ, R. The importance of *Guizotia abyssinica* (niger) for sustainable food security in Ethiopia. **Genetic Resources And Crop Evolution**, [S.L.], v. 60, n. 5, p. 1763-1770, 8 maio 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-013-9997-9>.

FARRAPEIRA, R. D. O. *et al.* Estimativa da evapotranspiração de cultura (ETc) para determinar a eficiência do uso da água no Perímetro Irrigado de Poção da Ribeira em Itabaiana/SE. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v. 16, n. 49, p. 3693-3703, 2023. DOI: 10.55905/rdelosv16.n49-012.

Fernandes, J. A. *et al.* "Energias renováveis: fonte de energia limpa?" **XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. 2020.

FERNANDES, E. J; TURCO, J. E. P. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM CULTURA DE SOJA. **IRRIGA**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 132–141, 2003. DOI: 10.15809/irriga.2003v8n2p132-141. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3129>. Acesso em: 28 ago. 2024.

FERNANDES, A. B. *et al.* Conhecendo e conscientizando sobre energias renováveis e meio ambiente. **Caderno Impacto em Extensão**, Campina Grande, v. 5, n. 2, 2024. Disponível em: <https://revistas.editora.ufcg.edu.br/index.php/cite/article/view/2745>. Acesso em: 4 set. 2024.

FERREIRA, A dos S. *et al.* Pyroligneous extract as a mitigator of water deficit in pitanga plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 1-8, abr. 2025. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n2e286827>.

FERREIRA, S. L. *et al.* Análise por cromatografia gasosa de BTEX nas emissões de motor de combustão interna alimentado com diesel e mistura diesel-biodiesel (B10). **Química Nova**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 539-545, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000300015>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v .35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, J. F.; SANTOS, D. M. DOS; MACIEL, V. M. T. NOVAS FRONTEIRAS ECONÔMICAS PARA O USO DO BODIESEL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. **Epitaya E-Books**, 1(84), 61-78. 2024. <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2024554p61>

FIGUEIRÊDO, V. B. *et al.* Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 231-240, jun. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162009000200006>.

FRANK, A.B.; POWER, J.F.; WILLIS, W.O. Effects of temperature and plant water stress on photosynthesis, diffusion resistance, and leaf water potential in spring wheat.

Agronomy Journal, v.65, p.777-780, 1973.

GEBEYEHU, A. G. *et al.* Characterization of Niger (*Guizotia abyssinica*) seed crop using agro-morphological traits. **Agronomy**, v.11, p.1479, 2021.

GETINET, A. SHARMA, S.M. Níger. *Guizotia abyssinica* (L. f.) Cass. conservation and use of underutilized and neglected crops. **Promoting the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI)**. International Usina Genetic Resources Institute, Roma, 1996.

GORDIN, Carla Regina Baptista; SCALON, Silvana de Paula Quintão; MASETTO, Tathiana Elisa. Disponibilidade hídrica do substrato e teor de água da semente na germinação de niger. **Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia**, v. 45, n. 3, p. 312–318, jul./set. 2015. Disponível em: <http://www.agro.ufg.br/pat>. Acesso em: 3 jun. 2025.

GUIMARÃES, P. de S. *et al.* Efeito do déficit hídrico em híbridos simples de milho submetidos à seca em três estádios fenológicos da cultura. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012.

GELETA, M.; ORTIZ, R. The importance of *Guizotia abyssinica* (niger) for sustainable food security in Ethiopia. **Genetic Resources And Crop Evolution**, [S.L.], v. 60, n. 5, p. 1763-1770, 8 maio 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-013-9997-9>.

GEORGE, E. F. Factors affecting growth and morphogenesis. In: (Ed.). **Plant propagation by tissue culture**. Edington: Exegetics 1993. p. 183-230.

GUERRA, A. M. N. M.; COSTA, A. C. M.; TAVARES, P. R. F. Atividade fotossintética e produtividade de alface cultivada sob sombreamento. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 125-132, 2017. DOI: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v38i3.29246>.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D. E. Propagacion de plantas: princípios y praticas. México: **Compañía Editorial Continental**, 1990. 760 p.

HONÓRIO, G. Produção de biogás a partir dos resíduos da produção de biodiesel no Brasil - uma revisão. **Latin American Journal of Energy Research**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 180–194, 2024. DOI: 10.21712/lajer. 2024.v11.n1.p180-194. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/lajer/article/view/44362>. Acesso em: 4 set. 2024.

HOOGENBOOM, G.; HUCK, M.G.; PETERSON C.M. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.697-614, 1987.

IOWA STATE UNIVERSITY¹. Using the Licor 3100 Area Meter. 200723. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=OaQjwQZUt3s4>. Acesso em: 21 ago. 2024.

IRENA. **World Energy Transitions Outlook 2023**. Disponível em: <<https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>>.

ISTA - INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **International rules for seed testing**. ed. 2025. Wallisellen, Switzerland, 2025. Chapter 10: Thousand-seed weight (TSW) determination, p.10.1-10.2.

KASELE, I.N. *et al.* Ethephon alters corn growth, water use, and grain yield underdrought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p.283-288, 1994.

KASLE, S. V. *et al.* Studies on growth, yield and quality of niger (*Guizotia abyssinica* Cass) as influenced by graded levels of fertilizer and plant density. **The Pharma Innovation Journal**, v. 9, n. 11, p. 314-316, 2020.2018

KUMAR, S; BANSAL, S. Performance evaluation of ANFIS and RSM in modeling biodiesel synthesis from soybean oil. **Biosensors And Bioelectronics**: X, [S.L.], v.15, p.100408, dez. 2023. ElsevierBV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosx.2023.10048>.

KURENKOVA, E. M; TOLKACHEVA, A. N; ZAPIVALOV, S. A. Introduction of *Guizotia abyssinica* (L.F.) Cass. in agroecological conditions of the Central region of the Russian Federation. **Bio Web Of Conferences**, [S.L.], v. 82, p. 02017, 2024. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/bioconf/20248202017>.

Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research; Getinet, A.; Sharma, S.M. (1996) Niger, *Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass. **Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops n.5**, 58 p. ISBN: 978-92-9043-292-0, ISBN: 92-9043-292-6

LIMA, R. A. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. **Revista Eletrônica Direito e-nergia**, v. 5, n. 4, p. 1—, jan./jul. 2012. Disponível em: [ISSN 2175-6198].

LYNCH, J. P *et al.*, Root anatomy and soil resource capture. **Plant and Soil**, v.466, p.21-63, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05010-y>.

MANTOVANI, E. C; BERNARDO, S; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 3. ed. atual. **Viçosa**, MG: Ed. UFV, 2009. 355 p. ISBN 9788572693738.

MARAFON, A. C, *et al.* **Uso da biomassa para a geração de energia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. (Documentos, 211). ISSN 1678-1953.

Matriz elétrica brasileira registra maior expansão da história em 2024. Disponível em: <<https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202501/matriz-eletrica-brasileira-registra-maior-expansao-da-historia-em-2024>>. Acesso em: 23 jan. 2025.

MAUAD, M, *et al.*, PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DAS PLANTAS DE NIGER. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 533-540, abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140391>.

MELO, D. S, *et al.* Protocolo para Avaliações de Plantas e de Castanhas do Programa de Melhoramento Genético do Cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, CE: **Embrapa Agroindústria Tropical**, 2018. (Comunicado Técnico, 245). ISSN

1679-6535.

MIRANDA, F. R, *et al.* Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do cajueiro-anão irrigado e adensado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Fortaleza, CE, maio de 2024, ISSN 1679-6543 / e-ISSN 0000-0000.

MOHAN KUMAR, B.N. *et al.* Influence of sowing dates on production of seed yield in niger (*Guizotia abyssinica* Cass.). Karnataka, **J. Agric. Sci.**, 24 (3) : (289 - 293) 2011.

MONTEIRO, M.; FERREIRA, M.; SANTOS, D. Energia da Biomassa. **Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense**, v. 3, 2013.

MOREIRA, C. E. S; CARDOSO, A. M. Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente. Bolsista de Valor: **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**. v. 1, 2010.

MOTA, P. R. D'A, *et al.* Fluxos de energia do manejo da irrigação e fertirrigação na cultura da cana-de-açúcar. **Agrometeoros**, [S.L.], v. 32. 2024. AGROMETEOROS. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v32.e026706>.

NITSCHKE, P. R. *et al.* Atlas Climático do Estado do Paraná. Londrina, **PR: IAPAR**, 2019. 210p.

NOGUCHI, A; NOBRE, F. S. 'Oil and Gas Companies - Are They Shifting to Renewables? A Study of Policy Mixes for Energy Transition in Brazil', **Bar - Brazilian Administration Review**, v. 20, n. 1. 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-7692bar2023220087>.

OLIVEIRA, A. J. de.; RAMALHO, J. (Coord.). Plano Nacional de Agroenergia: 2006-2011. 2. ed. rev. **Brasília**, Embrapa Informação Tecnológica.

OLIVEIRA, H. N. G; SILVA, K. I. S. Fontes de energias no Brasil. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 5677-1, 7 mar. 2024. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.55905/revconv.17n.3-083>.

PICOLO, A. P; RÜHLER, A. J.; RAMPINELLI, G. A. Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 01-13, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172014000400007>.

RAMDAN, M. F; MORSEL, J. T. Proximate neutral lipid composition of Niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) seed. **Czech J Food Sci.** 2002; 20:98-104.

RAMADAN, M. F. Functional Properties, Nutritional Value, and Industrial Applications of Niger Oilseeds (*Guizotia abyssinica* Cass.). **Critical Reviews in Food Science And Nutrition**, [S.L.], v. 52, n. 1, p. 1-8, jan. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2010.486083>.

RECH, J. E. Desempenho agrônômico do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) em função da época de semeadura e do controle químico da mancha de alternaria. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – **Universidade Federal da Grande Dourados**, Dourados, 2012.

REICHARDT, K. A. Água em Sistemas Agrícolas. São Paulo: **Manole**, 1986. 188 p.

RUANE, A.; ROSENZWEIG, C. **Climate Change Impacts on Agriculture: Challenges, Opportunities, and AgMIP Frameworks for Foresight**. 2012.[s.l: s.n.]. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190025372/downloads/20190025372.pdf>.

SALTARIN, M. J. *et al.* A logística inversa dos óleos de gorduras residuais na produção de um biodiesel sustentável: uma revisão. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 1, p. 1170-1183, 2023. Disponível em: <https://tinyurl.com/24byvat2>. Acesso em: 03 abr. 2024.

SANTOS, C. A. C. *et al.* Spatio-temporal patterns of energy exchange and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 85, e101982, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101982>.

SANTOS, M.A. *et al.* Eficiência do uso da água pelo tomate uva submetido a diferentes tipos de substrato, métodos de condução e estratégias de manejo de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 42, 2024, e279426. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-0536-2024-e279426>.

SANTOS, R. F; BASSEGIO, D; SILVA, M. de A. Productivity and production components of safflower genotypes affected by irrigation at phenological stages. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 186, p. 66-74, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.02.013>.

SARIN, R; SHARMA, M; KHAN, A. A. Studies on Guizotia abyssinica L. oil: biodiesel synthesis and process optimization. **Bioresource Technology, Trivandrum**, v. 100, n. 18, p. 4187-4192, 2009. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.193690.

SILVA, F. P. *et al.* PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE NIGER. Revista Engenharia na Agricultura - Reveng, [S.L.], v. 26, n. 6, p. 507-515, 19 dez. 2018. **Revista Engenharia na Agricultura**. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v26i6.864>.

SILVA, P. R.F; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 38, n. 3, p.843-851, jun.2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.org/10.1590/s0103-8478200800300044>.

SOARES, F. P. *et al.* Agenda 2030, ODS e educação hídrica: revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 43, e193690, 2023. Disponível em: link. Acesso em:16 junho. 2025.

SOUZA, V. E. O. Dano ambiental causado por materiais particulados pelo uso de combustíveis fósseis. **Revista Insigne de Humanidades**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2024. DOI:

10.5281/zenodo.12519074. Disponível em:
<https://insigneacademica.com.br/ojs/index.php/revistainsignedehumanidades/article/view/3..> Acesso em: 4 set. 2024.

SUNDAR, S; SINGH, B; KAUR. Optimizing dry-air preheating conditions for enhancing bioactive constituents, stability, and physiochemical attributes of niger [Guizotia abyssinica (Lf) Cass.] seed oil. **Food And Humanity**, [S.L.], v. 3, p. 100350, dez. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100350>.

SZUBA-TRZNADEL, A. *et al.* The Effect of Harvest Date on the Chemical Composition and Fodder Yield of Guizotia abyssinica (Guizotia abyssinica (L.f.) Cass.) under the Climatic Conditions of South-West Poland. **Agriculture**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 481, 29 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture12040481>.

TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Relationship of seed vigor to crop yeild: a review. **Crop Science, Madison**, v. 31, n. 3,p. 816-822, 1991.

TESEMA, A. A; MEKONEN, D. A. Responses of Niger [Guizotia abyssinica (L.f.) Cass.] to cadmium and nickel stress. *Vegetos*, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 239-249, 22 fev. 2023. **Springer Science and Business Media LLC**. <http://dx.doi.org/10.1007/s42535-023-00591-8>.

UNFCCC. The world needs a swift transition to sustainable energy. Disponível em: <<https://unfccc.int/news/the-world-needs-a-swift-transition-to-sustainable-energy>>. Acesso em: 10 out. 2024.

VIDAL, M. F. **Produção e uso de biocombustíveis no Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 4, n.79, maio 2019. (Caderno Setorial ETENE, n.79)

VILLA, F. *et al.* Field development of physalisspeciesproduced in different shading levels. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18188/sap.v18i4.22622>.

VYVER, C. V. D; PETERS, S. How Do Plants Deal with Dry Days? **Frontiers For Young Minds**, [S.L.], v. 5, 23 out. 2017. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/frym.2017.00058>.

XOCONOSTLE-CAZARES, B.*et al.* Drought tolerance in crop plants. **Americam Journal Plant Physiology**, 5:241-256, 2010.

YESILYURT, M. K.; CESUR, C. Biodiesel synthesis from Styrax officinalis L. seed oil as a novel and potential non-edible feedstock: a parametric optimization study through the taguchi technique. **Fuel**, [S.L.], v. 265, p. 117025, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117025>.

YOUN, M. H. *et al.* Produção de hidrogênio por reforma autotérmica de etanol sobre catalisadores Ni/Al₂O₃: efeito da segunda adição de metal. **Journal of Power Sources**, v. 162, p. 1270-1274, 2016.

ZHU, K. *et al.*, Wood Vinegar Impact on the Growth and Low-Temperature Tolerance

of Rapeseed Seedlings. **Agronomy**, v.12, e2453, 2022.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12102453>.