



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, NATURAIS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE NOVOS
GENÓTIPOS DE SOJA EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

CARLOS EDUARDO ALVES MACHADO

ESTREITO/MA

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, NATURAIS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE NOVOS
GENÓTIPOS DE SOJA EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, como requisito básico para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Weverton Pereira Rodrigues

ESTREITO/MA

2025

M113a

Machado, Carlos Eduardo Alves

Aspectos ecofisiológicos, crescimento e produtividade de novos genótipos de soja em condições de campo. Carlos Eduardo Alves Machado. —. Estreito, MA, 2025.

14 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrônoma) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Estreito, MA, 2025.

1. Estresse térmico. 2. Estresse abiótico. 3. *Glycine max* L. 4. Termografia. 5. Estreito-MA. I. Título.

CDU 62.633.34

Ficha elaborada pela Bibliotecária: **Beatriz Araujo Serra CRB-13/1002**

ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE NOVOS GENÓTIPOS DE SOJA EM CONDIÇÕES DE CAMPO

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, como requisito básico para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Weverton Pereira Rodrigues

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Prof. Dr. Járison Cavalcante Nunes

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Profa. Ms. Kalyne Pereira Miranda Nascimento

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

ESTREITO/MA

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, autor de todas as coisas, por sua fidelidade, graça e direção em minha vida. Como está escrito em Salmos 2.7: “Proclamarei o decreto do Senhor: Ele me disse: Tu és meu filho, eu hoje te gerei”. É esse cuidado divino, cuidado de pai que me sustentou durante toda a caminhada acadêmica, renovando minhas forças e guiando meus passos.

À minha mãe e irmãos, minha eterna gratidão por serem meu alicerce. O amor, o apoio e a presença de vocês foram fundamentais para que eu não desistisse diante dos desafios. Cada gesto de incentivo, mesmo nos momentos mais silenciosos foi combustível para minha caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Weverton Pereira Rodrigues, deixo um agradecimento especial por sua orientação firme, atenta e sempre respeitosa. Sua escuta paciente, suas sugestões criteriosas e seu comportamento foram indispensáveis para a construção deste trabalho. Mais do que um orientador, foi um verdadeiro parceiro acadêmico, contribuindo com clareza e incentivo em cada etapa.

Aos meus amigos e colegas que trilharam este caminho comigo, sou grato pelas amizades construídas, pelos aprendizados compartilhados e pelo apoio mútuo nas horas de pressão e também nas conquistas.

À UEMASUL, agradeço pelo espaço de formação, pelas oportunidades oferecidas e pelo compromisso com a educação pública de qualidade. A todos os professores e profissionais da instituição que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação.

Aspectos ecofisiológicos, crescimento e produtividade de novos genótipos de soja em condições de campo

Ecophysiological aspects, growth and yield of new soybean genotypes under field conditions

Carlos Eduardo Alves Machado¹ e Weverton Pereira Rodrigues²

RESUMO: As mudanças climáticas, caracterizadas pelo aumento da concentração de CO₂ e das temperaturas têm provocado efeitos adversos sobre a produtividade agrícola, exigindo novas estratégias para garantir a segurança alimentar. Nesse contexto, a soja se destaca, cultura fundamental para a alimentação humana e animal, se destaca. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os aspectos ecofisiológicos, crescimento e produtividade de novos genótipos de soja sob condições de campo. O experimento foi conduzido com os genótipos de soja Olimpo IPRO, NEO802 12X e 80I85RSF IPRO em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Foram realizadas mensurações de temperatura foliar via termografia por infravermelho, área foliar, massa seca das folhas e produtividade. A análise estatística foi realizada utilizando o software R, conforme os pressupostos da análise de variância (ANOVA). Os resultados mostraram que o genótipo Olimpo IPRO apresentou maior área foliar, sugerindo maior potencial fotossintético. No entanto, não houve diferenças estatísticas significativas na massa seca das folhas e na produtividade, embora o genótipo 80I85RSF IPRO apresentou uma forte tendência para maiores rendimentos, alcançando 79 sc ha⁻¹. Quanto à temperatura foliar, observou-se tendência de melhor regulação térmica nos genótipos NEO802 12X e 80I85RSF IPRO, o que pode indicar maior eficiência na transpiração e resiliência ao estresse térmico. Considerando esses fatores o genótipo 80I85RSF IPRO se mostra como a melhor opção para o cultivo em condições de campo.

PALAVRAS-CHAVE: Estresse térmico. Estresse abiótico. *Glycine max* L. Termografia.

ABSTRACT: Climate change, characterized by both increased CO₂ concentrations and temperatures, has had adverse effects on agricultural productivity, requiring new strategies to ensure food security by 2050. In this context, soybean, a fundamental crop for human and animal nutrition, stands out. This study aimed to evaluate the ecophysiological aspects, growth and yield of new soybean genotypes under field conditions in the municipality of Açailândia-MA, a region marked by high temperatures and air vapor pressure deficit (VPD). The experiment was conducted with the soybean genotypes cv. Olimpo IPRO, NEO802 12X and 80I85RSF IPRO in a randomized block design. Leaf temperature, leaf area, leaf dry mass and yield were measured via infrared thermography. Statistical analysis was performed using R software, according to the assumptions of analysis of variance (ANOVA). The results showed that the Olimpo IPRO genotype had a larger leaf area, suggesting greater photosynthetic potential. However, there were no statistically significant differences in leaf dry mass and yield, although the 80I85RSF IPRO showed a pronounced, though statistically non-significant, tendency toward increased yield, achieving 79 sc ha⁻¹. Regarding leaf temperature, a trend of better thermal regulation was observed in the NEO802 12X and 80I85RSF IPRO genotypes, which may indicate greater transpiration efficiency and resilience to heat stress. Considering these factors, the genotype 80I85RSF IPRO appears to be the best option for cultivation in field conditions.

KEYWORDS: Heat. Abiotic stress. *Glycine max* L. Thermography.

INTRODUÇÃO

As ações antrópicas têm aumentado gradualmente a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente o CO₂ cuja concentração passou de 280 µL CO₂ L⁻¹ até uma média atmosférica global de 423 µL CO₂ L⁻¹ em 2023 (NOAA, 2024), podem alcançar valores estimados entre 730 e 1.020 µL CO₂ L⁻¹ em 2100 acompanhado de um aquecimento global de até 4,8 °C (IPCC, 2019). Além disso, ondas de calor e alterações nos padrões de precipitação inter e intra-anual, com períodos de seca prolongada e eventos de chuvas extremas, também são previstos ocorrer (IPCC, 2019). Essas mudanças climáticas, especialmente os episódios de secas e elevadas temperaturas, são previstas reduzir a produtividade global das culturas agrícolas (GUPTA, RICO-MEDINA e CAÑO-DELGADO, 2020). Por outro lado, o aumento da população mundial demandará um aumento na produção de alimentos, a qual pode ultrapassar mais de 10 bilhões de habitantes até 2050 (FRÓNA, SZENDERÁK e HARANGI-RÁKOS, 2019).

Diversos estudos têm demonstrado o impacto das mudanças climáticas em várias culturas, especialmente aquelas que compõem a base da alimentação humana como a soja (*Glycine max* L.) a qual também é fundamental para alimentação animal, o que implica em seu alto valor comercial. O Brasil produziu, na safra 2023/2024 cerca de 147,3 milhões de toneladas de soja, com uma produtividade média de 3.202 kg por hectare (ha) em uma área de 46 milhões de ha (CONAB, 2025). Já o estado do Maranhão produziu cerca de 4,4 milhões de toneladas em 1,3 milhão de ha, com rendimento de 3.312 kg ha⁻¹ (CONAB, 2025). Essa média de produtividade superior à nacional pode ser explicada pela elevada incidência de horas luz na região o que favorece desempenho fotossintético das plantas e consequentemente o acúmulo de biomassa.

O desenvolvimento de genótipos mais tolerantes para as novas condições ambientais é uma das estratégias que têm se mostrado promissoras para superar o desafio de aumentar a produção agrícola em ambientes cada vez mais estressantes (KAMPHORST et al., 2020). Embora, quase sempre, a produtividade é a principal característica que é levada em consideração quando se pretende analisar a viabilidade de novos genótipos, o conhecimento dos aspectos fisiológicos que resultam em melhor desempenho é fundamental para prever as possíveis respostas caso as condições ambientais se modifiquem (GRAY e BRADY, 2016).

Muitas técnicas são utilizadas para mensurar características fisiológicas diretas tais como fotossíntese, condutância estomática, entre outras. No entanto, essas técnicas consomem bastante tempo, o que inviabiliza sua utilização para estudar genótipos sob condições de campo, além de ser equipamentos relativamente caros restringindo também o acesso (ZIA et al., 2013). Por conta disso, o uso de ferramentas que indiretamente podem refletir alterações fisiológicas tem crescido acentuadamente, uma vez que são mais acessíveis pelo baixo preço e permitem a coleta de dados de forma mais rápida o que torna viável o seu uso em condições de campo (GALIENE et al., 2021).

Entre as ferramentas de imagem, o uso de câmeras termográficas têm sido uma das mais utilizadas para a detecção de estresse em plantas devido à sua significativa correlação entre a temperatura foliar e o fluxo de CO₂ e vapor d'água regulados pela abertura estomática (SIRAULT, JAMES e FURBANK, 2009; GUTIERREZ et al., 2018). Portanto, essa ferramenta tem sido utilizada para estimar a acumulação de biomassa e produtividade com alta precisão (GARCÍA-TEJERO et al., 2017). Além disso, as imagens termográficas podem ser obtidas em escala de copa, superando outras ferramentas tradicionais que obtêm dados apenas em escala de folha (GARCÍA-TEJERO et al., 2017).

Um dos estresses abióticos que são previstos ocorrer com maior frequência é o aumento do déficit de pressão de vapor do ar (DPV), devido ao aumento da temperatura e uma redução na umidade relativa, causando uma “seca atmosférica”, o que pode resultar, dependendo da capacidade hidráulica, em estresse hídrico na planta mesmo com água no solo (GILBERT et al., 2011; SINCLAIR, 2017). Portanto, considerando que as regiões produtoras de soja do estado do Maranhão apresentam elevadas temperaturas, o presente artigo visa compreender as respostas evocadas pelas cultivares de soja sob condições de elevado DPV do ar e se os novos genótipos apresentam resposta fisiológicas que poderiam potencializar sua produtividade nestes ambientes estressantes. Para isso, o objetivo do artigo buscou-se relacionar a termografia com características de crescimento e produtividade, além de comparar o desempenho agrônômico dos novos genótipos com o genótipo mais utilizado na região.

METODOLOGIA

Material vegetal, design experimental e local do experimento

O experimento foi realizado no período de janeiro a março de 2025 no Município de Açailândia, Maranhão, com o genótipo Brasmax Olimpo IPRO, um dos mais plantados atualmente na região, e mais dois novos genótipos, isto é, NEO802 12X e 80I85RSF IPRO, com similar ciclo de cultivo. O preparo do solo e as práticas de manejo foram realizadas de acordo com a literatura específica, realizada pela administração da fazenda. As adubações foram realizadas de acordo com a análise de solo e as exigências da cultura. Antes da semeadura as sementes foram inoculadas com inoculante líquido na dose de 4 mL kg⁻¹ de semente. O espaçamento de semeadura entre fileiras foi de 0,50 m e o número de sementes por metro foi calculado de acordo com o poder germinativo das sementes de maneira a obter 11 plantas por metro de linha. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com três tratamentos, e quatro repetições. Cada parcela foi constituída de quatro linhas com 3 metros de comprimento. A área útil foram as duas linhas centrais com 1 metro de cada linha, sendo o restante utilizado como bordadura. A mensuração ecofisiológica ocorreu três vezes durante o ciclo da cultura, duas no estágio vegetativo (V4 e V6) e uma no estágio reprodutivo (R5 - Início do enchimento do grão). As mensurações descritas acima foram realizadas entre 12:00 e

14:00 horas, por representar os horários mais quentes do dia, em folhas completamente expandidas, em 1 planta em cada uma das duas linhas centrais no metro central de cada linha em cada parcela. As mensurações de área foliar e massa seca das folhas foram realizadas no estágio R5.4 e produtividade no estágio R7.

Termografia por infravermelho

As imagens térmicas foram obtidas com uma câmera de infravermelho Flir E8 XT (Flir Systems, EUA) com uma emissividade da câmera ajustada para 0,96, com detector de matriz de plano focal, foram produzidas imagens de resolução 320 x 240 pixels (76.800 pixels) com uma precisão de $\pm 2\%$. Para ambas as medidas, o equipamento foi aproximado cerca de 0,50 m acima das plantas. As imagens capturadas foram armazenadas na memória do equipamento e para processamento das imagens foi utilizado o Software FLIR Tools versão 5.12.17023.2001, Copyright® 2015 FLIR.

Área foliar, massa das folhas e produtividade

No estágio R5.4, a área foliar foi estimada conforme a metodologia proposta por Richter et al. (2014), por meio da medição do comprimento e da maior largura de cada folíolo central de cada folha, em uma planta por linha. Para a determinação da massa seca das folhas, duas plantas de cada linha central foram coletadas, acondicionadas separadamente em sacos de papel devidamente identificados e levadas à estufa de circulação forçada de ar a 70 °C por 72 horas, no Laboratório de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, Naturais e Letras (CCANL) da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL). A produtividade foi avaliada no estágio reprodutivo R7, mediante a coleta de duas plantas de cada linha central, que foram submetidas ao mesmo processo de secagem utilizado para a massa seca das folhas, até que os grãos atingissem umidade próxima a 13%. Após a secagem, foi determinada a massa de grãos por planta, utilizada para estimar a produtividade (scs ha^{-1}), com base na densidade de plantio. As massas foram aferidas com o uso de uma balança analítica.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o software R. 4.1.0. (R CORE TEAM, 2021). Para verificação dos pressupostos da ANOVA, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos e Bartlett para homogeneidade de variâncias. Para as variáveis que atenderam aos pressupostos paramétricos, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para aquelas que não atenderam aos pressupostos, os dados foram transformados por logaritmo natural (LN), e os resultados posteriormente apresentados em escala original.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da área foliar apresentaram variação significativa entre os genótipos Olimpo IPRO e NEO802 12X (Tabela 1), sendo Olimpo IPRO o que obteve a maior área foliar (1.307,4 cm²), estatisticamente superior ao NEO802 12X, com 914,34 cm². O genótipo 80I85RSF IPRO apresentou valor intermediário (1.080,22 cm²), sem diferença significativa em comparação aos genótipos Olimpo IPRO e NEO802 12X. A superioridade da área foliar do genótipo Olimpo IPRO pode ser interpretada como um indicativo de maior potencial fotossintético. Segundo Kerbauy, (2004) a expansão foliar está intimamente associada à interceptação de luz solar, refletindo em maior acúmulo de fotoassimilados e, conseqüentemente, no crescimento e desempenho produtivo da planta. De fato, o aumento da área foliar em soja permite o fechamento do dossel e aumenta a interceptação da radiação solar (ZHANG et al., 2015). Contudo, a eficiência real de captação luminosa depende também da arquitetura do dossel, a distribuição das folhas e o ângulo, e não apenas a sua extensão. Algo observado na resposta da produtividade do Olimpo IPRO.

Tabela 1. Área foliar, massa seca das folhas e produtividade de genótipos de soja cultivados no município de Açailândia-MA

Variáveis	Olimpo IPRO	NEO802 12X	80I85RSF IPRO
Área foliar (cm ²)	1307,4 ± 85,9 a	914,3 ± 85,9 b	1080,2 ± 85,9 ab
*Massa das folhas (g)	20,2 ± 2,0 a	14,2 ± 2,0 a	18,4 ± 2,0 a
Produtividade (sc ha ⁻¹)	84,3 ± 9,4 a	86,7 ± 9,4 a	109,9 ± 9,4 a

Valores expressos como média ± erro padrão. Letras diferentes na linha indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *A variável massa das folhas foi transformada em logaritmo natural (LN) para atender aos pressupostos da ANOVA. Valores apresentados em escala original.

Fonte: AUTOR (2025).

Em relação à massa seca das folhas, apesar de uma tendência para variação, os resultados não apresentaram diferença estatística entre os genótipos, sendo 20,2 g para Olimpo IPRO, 14,2 g para NEO802 12X e 18,4 g para 80I85RSF IPRO (Tabela 1). Esses resultados indicam que apesar da variação da área foliar, o acúmulo de biomassa fotossintética nas folhas foi semelhante entre os genótipos. Porém, o aumento da massa foliar não está relacionado somente ao tamanho das folhas, mas também à espessura dos tecidos no mesofilo (POORTER et al., (2009). De fato, maior massa das folhas associadas com a espessura do mesofilo pode reduzir a condutância interna do CO₂ (i.e., a condutância mesofílica), influenciando diretamente a assimilação do carbono (MEDIIVILLA, ESCUDEIRO e HEILMEIER, 1999).

A produtividade não apresentou diferenças significativas, embora tenha sido mais expressiva no genótipo 80I85RSF IPRO com 109,9 sc ha⁻¹, em comparação aos demais genótipos, que obtiveram

86,7 sc ha⁻¹ para NEO802 12X e 84,3 sc ha⁻¹ para Olimpo IPRO (Tabela 1). Sugere-se que os materiais genéticos tenham apresentado respostas fisiológicas semelhantes sob as condições do experimento e esse resultado pode estar relacionado à homogeneidade ambiental que tende a diminuir a expressão da variabilidade genética (EVANGELISTA, 2019). Quando a interação genótipo x ambiente é limitado torna-se difícil identificar diferenças expressivas de produtividade entre cultivares, mesmo que tenham características genéticas diferentes (JÚNIOR et al., 2019). Assim os dados obtidos no trabalho reforçam a importância da avaliação em diferentes ambientes como propõem Ferrão et al., (2008).

A média da temperatura foliar dos genótipos não apresentou variação significativa (Tabela 2), na primeira avaliação (AV1), realizada no estágio vegetativo V4, sendo de 32,7 °C para NEO802 12X, seguida por 80I85RSF IPRO (31,7 °C) e Olimpo IPRO (31,5 °C). As plantas nesse estágio vegetativo estão expandindo sua biomassa foliar, com baixa densidade estomática, o que limita o resfriamento via transpiração. Sultana et al., (2024) demonstraram em sua pesquisa que a densidade estomática atinge seu pico apenas no estágio V4, o que sinaliza que antes desse momento o potencial termorregulador ainda era baixo, ou seja, era esperado que nessa fase inicial houvesse pouca diferenciação térmica entre cultivares.

Tabela 2. Temperatura foliar de genótipos de soja durante os estágios vegetativos V4 e V6 (AV1 e AV2, respectivamente) e no estágio reprodutivo R5.4 (AV3) sob condições de campo o município de Açailândia-MA.

Genótipos	Temperatura foliar (°C)		
	AV1	AV2	AV3
Olimpo IPRO	31,5 ± 0,4 a	28,4 ± 0,1 ab	27,7 ± 0,1 a
NEO802 12X	32,7 ± 0,4 a	29 ± 0,1 a	26,8 ± 0,1 b
80I85RSF IPRO	31,7 ± 0,4 a	28,2 ± 0,1 b	26,7 ± 0,1 b

Valores expressos como média ± erro padrão. Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores apresentados em escala original.

Fonte: AUTOR (2025).

As médias da segunda avaliação (AV2), realizada no estágio vegetativo V6, a temperatura foliar entre os genótipos apresentou diferenças significativas (Tabela 2), sendo que o genótipo 80I85RSF IPRO (28,2 °C) apresentou média inferior em comparação a NEO802 12X (29 °C), mas para a Olimpo IPRO (28,4 °C) obtiveram resultados estatisticamente iguais. Algo semelhante encontrado por Bai e Purcell, (2018) mostra que os genótipos de soja estudados mantiveram a temperatura do dossel mais baixa na fase intermediária do estágio vegetativo, mesmo sob condições homogêneas. Essa diferença térmica pode estar associada a características morfológicas e maior

capacidade de transpiração foliar. Além disso, a temperatura foliar em soja pode ser influenciada por fatores como arquitetura do dossel e atividade estomática (YANG et al., 2022).

Na última avaliação (AV3), realizada no estágio reprodutivo R5, a temperatura foliar apresentou diferenças significativas entre os genótipos (Tabela 2), sendo que o genótipo Olimpo IPRO apresentou maior temperatura (27,7 °C) enquanto os genótipos NEO802 12X e 80I85RSF IPRO apresentaram médias inferiores (26,8 °C e 26,7 °C, respectivamente). Essa diferença térmica pode estar associada à maior capacidade de resfriamento foliar dos genótipos NEO802 12X e 80I85RSF IPRO, devido ao período de enchimento de grãos, o que demanda uma maior transpiração foliar, permitindo a dissipação do calor neste estágio. Segundo Marafon et al., (2022) durante o enchimento de grãos ocorre intensa mobilização de fotoassimilados e eleva a taxa do metabolismo, aumentando o fluxo de água e nutrientes nos transportes internos, o que influencia diretamente as regulações térmicas. Almeida, (2022) ao estudar a soja em diferentes níveis de reposição hídrica, observou que mesmo em condições sem estresse, a eficiência do uso da água pode variar entre os genótipos, algo observado nos genótipos NEO802 12X e 80I85RSF IPRO desse trabalho. Isso ocorre porque fatores como o estágio fisiológico, arquitetura do dossel e abertura dos estômatos afetam o comportamento dinâmico das regulações térmicas.

Dessa forma, é possível afirmar que os resultados obtidos respondem em partes à hipótese inicial do trabalho, ao indicar que há diferença entre os genótipos avaliados, quanto aos aspectos ecofisiológicos e na área foliar. Essas diferenças, principalmente aquela associada a capacidade de resfriamento durante o período de enchimento dos grãos pode ter contribuído, para alguma extensão, para a tendência (não significativa) de maiores produtividades no 80I85RSF IPRO, embora mais estudos ainda serão necessários. Esses achados são valiosos para orientar decisões de manejo em regiões com alta demanda evaporativa, contribuindo na escolha de materiais genéticos mais resilientes.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que o genótipo Olimpo IPRO apresentou maior área foliar, o que pode indicar maior capacidade de interceptação luminosa. Contudo, essa característica não resultou em maior acúmulo de massa seca das folhas nem em maior produtividade revelando que a expansão foliar isoladamente não garante desempenho superior.

Para a produtividade, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os genótipos. No entanto, o genótipo 80I85RSF IPRO obteve o maior valor numérico (109,9 sc ha⁻¹), sugerindo potencial agrônomo promissor.

As análises térmicas indicam que os genótipos NEO802 12X e 80I85RSF IPRO apresentaram temperatura foliar mais baixa na fase de estágio reprodutivo, refletindo maior eficiência no processo de resfriamento foliar, possivelmente associada a fase de enchimento de grãos.

A utilização da termografia por infravermelho mostrou-se eficaz como ferramenta complementar na caracterização fisiológica dos genótipos, permitindo avaliar parâmetros relacionados ao funcionamento dos genótipos de forma prática e não destrutiva.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. M. **Eficiência do uso da água e resposta termal da cultura da soja submetida a diferentes níveis de reposição hídrica**. 2022. 75 p., Tese (Doutorado em Ciências) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022. DOI: [10.11606/T.11.2021.tde-11022022-150829](https://doi.org/10.11606/T.11.2021.tde-11022022-150829). Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003063445>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- BAI, H.; PURCELL, L. C. Aerial canopy temperature differences between fast- and slow-wilting soya bean genotypes. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, ed. 3, p. 243-251, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jac.12259>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jac.12259>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- CLIMATE CHANGE AND LAND – IPCC (2019). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/>. Acesso em: 28 mai. 2024.
- CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 25 mai. 2024.
- EVANGELISTA, J. S. P. C. **Estratificação Ambiental e Métodos de Seleção no Melhoramento de Soja**. Orientador: Leonardo Lopes Bhering. 2019. Dissertação (Mestrado em Magister Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2019.
- FERRÃO, R. G. et al. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 61-69, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000100009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/XFgzFfvj4MBVMnvTm69wrYh/>. Acesso em: 09 jun. 2025.
- FRÓNA, D.; SZENDERÁK, J.; HARANGI-RÁKOS, M. The Challenge of Feeding the World. **Sustainability**, v.11, p. 5816, October, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11205816>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/20/5816>. Acesso em: 12 mai. 2024.
- GALIENI, A. et al. Past and Future of Plant Stress Detection: An Overview From Remote Sensing to Positron Emission Tomography. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p. 609155, January, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.609155>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2020.609155/full>. Acesso em: 12 mai. 2024.
- GARCÍA-TEJERO, I. F. et al. Infrared thermography to select commercial varieties of maize in relation to drought adaptation. **Quantitative InfraRed Thermography Journal**, v.14, p. 54–67, September, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/17686733.2016.1229327>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17686733.2016.1229327>. Acesso em: 12 mai. 2024.
- GILBERT, M. E. et al. Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. **Field Crops Research**, v.124, p. 85–92, October, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429011002103>. Acesso em: 12 mai. 2024.
- GRAY, S. B.; BRADY, S. M. Plant developmental responses to climate change. **Developmental Biology**, v. 419, p. 64–77, November, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.07.023>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012160616302640>. Acesso em: 12 mai. 2024.

GUPTA, A.; RICO-MEDINA, A.; CAÑO-DELGADO, A. I. The physiology of plant responses to drought. **Science**, v. 368, p. 266-269, April, 2020. DOI: 10.1126/science.aaz7614. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaz7614>. Acesso em: 12 mai. 2024.

GUTIÉRREZ, S. et al. Vineyard water status assessment using on-the-go thermal imaging and machine learning. **PLoS ONE**, v.1, p. e0192037, February, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192037>. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0192037>. Acesso em: 12 mai. 2025.

JONES, H. G. **Plants and Microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology**. ed. 2. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

JÚNIOR, J. A. L. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de soja e épocas de semeadura, em solo glei húmico com sistema de camalhões. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 1, p. 9–14, 2019. ISSN 1983-1471. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/20694>. Acesso em: 09 jun. 2025.

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

<https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2020.01289/full>. Acesso em: 28 mai. 2024.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro. Editora Guanabara. 2004. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/biologia/livros/FISIOLOGIA%20VEGETAL%20-%20GILBERTO%20BARBANTE%20KERBAUY.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2025.

MARAFON, et al. Desempenho fisiológico e produtivo de cultivares de soja na Zona da Mata de Alagoas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 172, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, ed. 21, 22 p., dez. 2022. ISSN 1678-1961. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1150142/1/BP-172-22-Embrapa-Tabuleiros-Costeiros-1.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2025.

MEDIAVILLA, D.; ESCUDEIRO, A.; HEILMEIER, H. Internal leaf anatomy and photosynthetic resource-use efficiency: interspecific and intraspecific comparisons. **Tree Physiology**, v. 21, p. 251–259, April, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/21.4.251>. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article-abstract/21/4/251/1717236?redirectedFrom=fulltext>.

Acesso em: 08 de jun. 2025.

NOAA (2024). **Climate change: Atmospheric carbon dioxide**. Climate.gov, USA. Disponível em: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>. Acesso em: 27 mai. 2024.

POORTER, H. et al. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. **New Phytologist**, v. 182, p. 565–588, October, 2009. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x>. Acesso em: 08 jun. 2025.

R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

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

<https://www.scielo.br/j/brag/a/5t8dfDshhDZFcwQq4rZZ8Cz/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 08 jun. 2025.

SINCLAIR, T. R. **Soybean. In: Water-Conservation Traits to Increase Crop Yields in Water-deficit Environments**. SINCLAIR, T.R. (ed.), Springer, chapter 3, p.17–26, 2017.

- SIRAULT, X. R. R.; JAMES, R. A.; FURBANK, R. T. A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography. **Functional Plant Biology**, v. 36, p. 970–977, November, 2009. DOI: 10.1071/FP09182. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32688708/>. Acesso em: 27 mai. 2024.
- STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. “Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient,” in PAPAGEORGIOU G. C. **Chlorophyll a Fluorescence**, ed. (Dordrecht: Springer), 2004, p. 321–362.
- SULTANA, S. N.; JO, H.; SONG, J. T.; KIM, K.; LEE, J. Stomatal Density Variation Within and Among Different Soybean Cultivars Across Various Growth Stages. **Agriculture**, v. 14, ed. 11, november, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14112028>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/11/2028>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- YANG, Y. et al. Integration of Genomics with Crop Modeling for Predicting Rice Days to Flowering: A Multi-Model Analysis. **Field Crops Research**, v. 276. february, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108394>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429021003403>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- ZHANG, H. et al. Genetic dissection of the relationship between plant architecture and yield component traits in soybean (*Glycine max*) by association analysis across multiple environments. **Plant Breeding**, v. 134, ed. 4, p. 564–572, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12305>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pbr.12305>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- ZIA, S. et al. Infrared thermal imaging as a rapid tool for identifying water-stress tolerant maize genotypes of different phenology. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.199, p.75–84, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00537.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-037X.2012.00537.x>. Acesso em: 12 mai. 2024.