



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JHEYSON ÉRICK DANTAS DA SILVA

**INDUTOR DE RESISTÊNCIA E REMINERALIZADOR DE SOLO COMO
PROMOTORES DE CRESCIMENTO, CLOROFILAS E METABOLISMO
ANTIOXIDANTE EM CAFÉ ARÁBICA**

AREIA

2026

JHEYSON ÉRICK DANTAS DA SILVA

**INDUTOR DE RESISTÊNCIA E REMINERALIZADOR DE SOLO COMO
PROMOTORES DE CRESCIMENTO, CLOROFILAS E METABOLISMO
ANTIOXIDANTE EM CAFÉ ARÁBICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro de Ciências Agrárias, da Universidade
Federal da Paraíba, como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador:

Prof. Dr. Guilherme Silva de Podestá.

AREIA

2026

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586i Silva, Jheyson Érick Dantas da.

Indutor de resistência e remineralizador de solo como promotores de crescimento, clorofilas e metabolismo antioxidante em café arábica / Jheyson Érick Dantas da Silva. - Areia:UFPB/CCA, 2026.
34 f. : il.

Orientação: Guilherme Silva de Podestá.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Catucaí Amarelo 24/137. 3. Cafeicultura. 4. Elicitor. 5. Solo. I. Podestá, Guilherme Silva de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

JHEYSON ÉRICK DANTAS DA SILVA

**INDUTOR DE RESISTÊNCIA E REMINERALIZADOR DE SOLO COMO
PROMOTORES DE CRESCIMENTO, CLOROFILAS E METABOLISMO
ANTIOXIDANTE EM CAFÉ ARÁBICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro de Ciências Agrárias, da Universidade
Federal da Paraíba, como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

RESULTADO: APROVADO

NOTA: 10,00

Areia, 06 de outubro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **GUILHERME SILVA DE PODESTA**
Data: 19/02/2026 16:03:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Guilherme Silva de Podestá (orientador)
Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente
 **THIAGO JARDELINO DIAS**
Data: 19/02/2026 14:35:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias
Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente
 **RAMON FREIRE DA SILVA**
Data: 19/02/2026 14:24:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Ramon Freire da Silva
Universidade Federal da Paraíba

Dedico este trabalho à memória de meu pai, **Gerson Dantas da Silva**, e de meu avô paterno, **Francisco de Assis**. Que esta conquista seja um tributo ao exemplo, a educação e ao legado que ambos deixaram em minha vida.

Se a aparência e a essência das coisas
coincidissem, a ciência seria desnecessária.
Karl Marx, 1865

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, que em silêncio fez tudo.

À minha mãe, **Edineide Marques Dantas da Silva**, por ser meu porto seguro e maior exemplo de resiliência. Sem seu apoio incondicional, este sonho não teria saído do papel.

À minha avó paterna, **Maria Gorette Dantas da Silva**, a quem devo muito do que sou, agradeço por ter cuidado de mim com tanto amor e dedicação, sendo a mão que sempre me guiou. Obrigado por moldar meu caráter e me ensinar o valor da retidão e dos sacrifícios, minha gratidão é eterna.

À memória de meu pai, Gerson Dantas da Silva, e de meu avô, Francisco de Assis. Embora não estejam mais fisicamente presentes, sei e sinto que estão comigo cada passo que dou. Agradeço por terem sido os primeiros arquitetos do meu caráter, moldando em mim a honestidade, a resiliência e a retidão, que busco guiar minha vida profissional e pessoal. Vocês seguem sendo as raízes que me sustentam e a luz que ilumina minhas conquistas; seus valores são o legado mais precioso que carrego comigo, sempre os amarei e sempre os terei como exemplo.

Aos meus avós maternos, **Francisco Marques e Dalva Reinaldo**, pelo carinho, apoio e presença constante em minha vida, aos quais também sou eternamente grato por tudo!

Aos meus irmãos, **Gedson Everton Dantas da Silva e Maria da Graça Dantas da Silva**, obrigado por dividirem comigo as angústias e as alegrias da vida. A presença de vocês é um lembrete constante de onde venho e do porquê luto para chegar mais longe.

À minha namorada, **Jéssica Marcelle Lemos Ribeiro**, e ao pequeno (agora já nem tão pequeno) **Davi Lemos Ribeiro**. Vocês mudaram a minha perspectiva de mundo. Obrigado, Jéssica, por ser minha companheira de vida, por sua paciência infinita e por sonhar este momento junto comigo. Davi, sua alegria é o combustível que me faz querer ser alguém melhor todos os dias.

Ao amigo Thiago Gomes da Silva, pela amizade construída, por apoio em toda a pesquisa e trabalhos ao longo desses anos de CCA UFPB, meus mais sinceros agradecimentos.

A toda a minha **família**, pelo apoio, por entenderem minha ausência durante este período de graduação, período onde perdemos pessoas amadas e nem sempre eu pude me fazer presente. Cada um de vocês possui uma parcela de contribuição nesta conquista.

Ao **Núcleo de Estudos em Cafeicultura da Universidade Federal da Paraíba (NECAF UFPB)**, pela oportunidade de me aprofundar na cultura do café, uma paixão que agora levo para minha vida profissional.

Ao meu orientador, Professor **Dr. Guilherme Silva de Podestá**, pela mentoria brilhante e pela confiança depositada em mim ao longo deste processo.

Aos membros da banca examinadora, Professor **Dr. Thiago Jardelino Dias** e **Dr. Ramon Freire da Silva**, pelas críticas construtivas e pela disponibilidade em avaliar este estudo.

A todos que torceram por mim, meu muito obrigado.

RESUMO

A cafeicultura brasileira enfrenta desafios crescentes relacionados à tolerância das plantas frente a estresses ambientais e biológicos. A busca por soluções sustentáveis que aumentem a resiliência do cafeeiro é fundamental para o desenvolvimento da cultura. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o crescimento, índices e fluorescências da clorofila, metabolismo antioxidantes de café arábica sob aplicação de indutor de resistência e remineralizador de solo. O delineamento em blocos ao acaso, 4 tratamentos: controle (T1), indutor Cos-OGA (T2), remineralizador (T3) e indutor + remineralizador (T4), 4 repetições, 6 plantas por parcela com 4 plantas úteis, totalizando 96 plantas foi usado.. Cultivou-se a variedade de café arábica Catucaí Amarelo 24/137. O indutor de resistência foi aplicado via foliar em pulverização a cada 15 dias por 3 meses, em quanto que o remineralizador foi aplicado em cova no plantio. Na primeira semana do experimento foram realizadas análises de crescimento das plantas, incluindo altura de planta, diâmetro do caule, diâmetro da copa e número de ramos. Após 30 dias da última aplicação, avaliaram-se as atividades das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase, além dos teores de clorofila a, b e total e fluorescência da clorofila. O tratamento com elicitor isolado reduziu o crescimento das plantas. O remineralizador apresentou o vigor vegetativo semelhante ao tratamento controle, enquanto a combinação dos dois produtos mitigou parcialmente o desempenho do elicitor, promovendo maior preparo bioquímico sem comprometer significativamente o crescimento. A atividade enzimática não apresentou diferenças entre os tratamentos. Observou-se aumento nos teores de clorofila e aumento da eficiência fotoquímica do fotossistema II, especialmente com o tratamento combinado, o que indica maior eficiência fotossintética e potencial resistência das plantas. Dessa forma, a associação entre elicitor e remineralizador mostra-se promissora para o cafeeiro, exigindo avaliação criteriosa dos produtores quanto ao equilíbrio entre crescimento e defesa, conforme as condições específicas do cultivo.

Palavras-chave: *Catucaí Amarelo 24/137*; cafeicultura; elicitor; solo.

ABSTRACT

Brazilian coffee farming faces growing challenges related to plant tolerance to environmental and biological stresses. The search for sustainable solutions that increase the resilience of coffee trees is fundamental to the development of the crop. In this context, the objective was to evaluate the growth, indices, and fluorescence of chlorophyll, as well as the antioxidant metabolism of Arabica coffee under the application of a resistance inducer and soil remineralizer. A randomized block design was used, with four treatments: control (T1), Cos-OGA inducer (T2), remineralizer (T3), and inducer + remineralizer (T4), four replicates, six plants per plot with four useful plants, totaling 96 plants. The Catucaí Amarelo 24/137 Arabica coffee variety was cultivated. The resistance inducer was applied via foliar spraying every 15 days for 3 months, while the remineralizer was applied in planting holes. In the first week of the experiment, plant growth analyses were performed, including plant height, stem diameter, crown diameter, and number of branches. Thirty days after the last application, the activities of the enzymes peroxidase, polyphenoloxidase, and phenylalanine ammonia-lyase were evaluated, in addition to the levels of chlorophyll a, b, and total chlorophyll and chlorophyll fluorescence. Treatment with the isolated elicitor reduced plant growth. The remineralizer showed vegetative vigor similar to the control treatment, while the combination of the two products partially mitigated the elicitor's performance, promoting greater biochemical preparation without significantly compromising growth. Enzyme activity showed no differences between treatments. An increase in chlorophyll content and photochemical efficiency of photosystem II was observed, especially with the combined treatment, indicating greater photosynthetic efficiency and potential plant resistance. Thus, the association between elicitor and remineralizer shows promise for coffee plants, requiring careful evaluation by producers regarding the balance between growth and defense, according to the specific conditions of cultivation.

Keywords: *Catucaí Amarelo 24/137*; coffee cultivars; elicitor; soil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 A Cafeicultura: Contexto Histórico, Econômico e Regional.....	12
2.2 Caracterização Genética: A Cultivar Catucaí Amarelo 24/137	13
2.3 Desafios Fitossanitários e a Busca por Sustentabilidade.....	13
2.4 Indutores de Resistência: Mecanismos, Trade-offs e Priming	14
2.5 Remineralizadores de Solo: Geoquímica e Nutrição Estrutural	14
2.6 Bioquímica e Fisiologia do Estresse em Coffea arabica Metabolismo Enzimático e Defesa	15
2.7 Dinâmica das Clorofilas	15
2.8 Fluorescência da Clorofila a e Eficiência Fotoquímica	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Local do experimento.....	17
3.2 Delineamento experimental	21
3.3 Condução do experimento	21
4 Variáveis analisadas	22
4.1 Crescimento.....	22
4.2 Atividade Enzimática	22
4.3 Clorofilas.....	23
4.4 Análise Estatística.....	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 Crescimento.....	24
5.2 Atividade enzimática	25
5.3 Clorofila	26
5.4 Fluorescência	27
6 CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS	31
ANEXO A – ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ.....	34

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura ocupa posição de destaque entre as principais culturas agrícolas globais, sendo o café a segunda bebida mais consumida mundialmente, atrás apenas da água, devido ao seu sabor característico e à presença constante em múltiplos contextos sociais (Alves, 2024). Os registros históricos atribuem aos árabes, por volta do século XV, o pioneirismo na utilização do café, sendo estes também, os responsáveis pelo início do cultivo do cafeeiro no Iêmen, no século XVI, a partir de sementes provenientes da Etiópia — região considerada centro de origem da espécie *Coffea arabica* L. (Alves, 2024).

No Brasil, a introdução do café ocorreu por intermédio de mudas provenientes da Guiana Francesa, inicialmente plantadas no Pará em torno de 1730. Posteriormente, chegou ao Rio de Janeiro por volta de 1760, expandindo-se progressivamente e consolidando a província de Vassouras como referência nacional na produção cafeeira no início do século XIX (Martins, 2012). Atualmente, as principais regiões produtoras de café concentram-se nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo, seguidos por Bahia, Rondônia e Paraná, com registro de pequenos produtores também em Mato Grosso, Rio de Janeiro, Goiás, Pernambuco, Pará, Acre e Ceará (Matiello *et al.*, 2024). A cultivar Catucaiam 24137, nome oficial de registro da cultivar no RNC/MAPA, que é popularmente conhecida como “Catucaí Amarelo 24/137”, é uma cultivar de porte baixo, de arquitetura estreita, em razão do pequeno diâmetro de copa. A cor das folhas jovens varia de verde a bronze-clara, os frutos maduros são de coloração amarela, com maturação de precoce a média. Possui elevado potencial produtivo e alto vigor vegetativo, com boa resposta à poda. Os grãos são de tamanho médio, com porcentagem de peneira 17 acima, em torno de 68%. A bebida é de ótima qualidade. A resistência à ferrugem é apenas moderada, havendo necessidade de controle químico, especialmente em anos de altas produções. É uma cultivar com ampla adaptabilidade, bastante cultivada em regiões cafeeiras do Sul de Minas Gerais e em locais de altitudes elevadas (EPAMIG 2025). O Estado da Paraíba desempenhou papel relevante na produção cafeeira nacional, conforme dados do Anuário Estatístico do Café de 1946, que aponta o plantio de 7.365.772 cafeeiros em 1920 e 14.400.000 de 1934 a 1936. (Anexo I)

A cafeicultura, apesar de consolidada no Brasil, enfrenta problemas fitossanitários, sendo que, no Estado da Paraíba, além das adversidades climáticas, há limitações técnicas que impactam a expansão da cultura. No entanto, a seleção de genótipos adaptados e a adoção de práticas de manejo adequadas, aliadas ao investimento em capacitação e inovação tecnológica,

tornam viável a superação dessas restrições e favorecem o aumento da produção em larga escala (Podestá *et al.*, 2024).

A introdução de fitopatógenos no território brasileiro por meio do trânsito de pessoas, animais, além da importação de mudas, sementes e demais produtos agrícolas, representa um desafio significativo para produtores de diferentes escalas, uma vez que essas ameaças encontram poucas restrições para se disseminarem rapidamente no ambiente agrícola nacional (Oliveira *et al.*, 2013; Pozebon *et al.*, 2020). Como consequência, diversas pragas e doenças de relevância econômica foram identificadas ao longo do tempo e ainda constituem obstáculos para o desenvolvimento de múltiplas culturas.

O uso de agentes indutores de resistência promove o fortalecimento dos mecanismos de defesa das plantas, contribuindo para a redução da dependência de agroquímicos e para o avanço da sustentabilidade na produção agrícola (Silva *et al.*, 2019; Martins *et al.*, 2023). Dessa forma, a incorporação desses indutores no manejo de cultivares de *Coffea arabica* L. pode ser estratégica para estabelecer parâmetros produtivos eficientes e economicamente viáveis em localidades com pouca disseminação de conhecimento acerca das características da espécie, tornando imprescindível a avaliação das adaptações dos genótipos, bem como sua caracterização agrônômica, especialmente em regiões onde a cultura apresenta retomada de crescimento nos últimos anos.

Remineralizadores de solo, compostos por pós de rochas minerais, têm se mostrado eficazes na melhora da fertilidade e na nutrição do cafeeiro, liberando gradualmente nutrientes essenciais e promovendo o desenvolvimento radicular e vigor vegetativo (Höfig *et al.*, 2024; Martins, 2023). Esses insumos atuam ainda resistência a estresses bióticos e abióticos, especialmente pelo fornecimento de silício, que contribui para a integridade das paredes celulares e maior resiliência das plantas (Eiterer, 2019; Martins, 2023). Na cafeicultura os remineralizadores representam uma alternativa para melhorar a eficiência do cultivo (Costa *et al.*, 2024) e neste trabalho inédito na cafeicultura em todo o Nordeste, podemos ver alguns resultados do uso dessa tecnologia.

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de remineralizador de solo e indutor de resistência, isolados e combinados, sobre a morfologia, desempenho fisiológico e parâmetros de resistência de *Coffea arabica* L. Espera-se subsidiar práticas de manejo mais adaptadas à realidade local e contribuir para o aprimoramento da sustentabilidade na cafeicultura regional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cafeicultura: Contexto Histórico, Econômico e Regional

A cafeicultura ocupa uma posição hegemônica no cenário agrícola internacional, sendo o café a segunda bebida mais consumida no planeta, superada apenas pela água. Essa preferência global deriva de suas características organolépticas únicas e de sua onipresença em diversos contextos sociais e culturais (Alves, 2024). As raízes históricas do consumo remetem aos árabes no século XV, povo também responsável pelo pioneirismo no cultivo sistemático do cafeeiro no Iêmen durante o século XVI, utilizando sementes oriundas da Etiópia, região reconhecida como o centro de origem e diversidade genética da espécie *Coffea arabica* L. (Alves, 2024).

A introdução da cultura no Brasil ocorreu através de mudas trazidas da Guiana Francesa, estabelecidas inicialmente no Pará por volta de 1730. A expansão territorial seguiu para o Rio de Janeiro em meados de 1760, consolidando regiões como a província de Vassouras como referências produtivas nacionais no início do século XIX, moldando a economia imperial da época (Martins, 2012; Carrilho, 2006). Contemporaneamente, a geografia da produção cafeeira nacional concentra-se majoritariamente nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo, estendendo-se também para a Bahia, Rondônia e Paraná, além de ocorrências em menor escala em outras unidades federativas como Mato Grosso, Rio de Janeiro, Goiás, Pernambuco, Acre e Ceará (Matiello *et al.*, 2024).

O Estado da Paraíba possui um histórico relevante e muitas vezes subestimado na cafeicultura. Dados do Anuário Estatístico do Café de 1946 demonstram a robustez da atividade no passado, apontando o plantio de mais de 7,3 milhões de cafeeiros em 1920, número que ascendeu para 14,4 milhões entre os anos de 1934 e 1936 (Mariz, 1979). Embora o estado tenha enfrentado um declínio produtivo nas décadas seguintes, o cenário atual aponta para uma retomada. Apesar das adversidades climáticas típicas da região e de limitações técnicas, a seleção de genótipos adaptados e a adoção de práticas de manejo tecnológicas, aliadas ao investimento em capacitação, indicam a viabilidade da superação dessas restrições, favorecendo o aumento da produção em larga escala no Brejo e Agreste paraibano (Podestá *et al.*, 2024; Ribeiro, 2024).

2.2 Caracterização Genética: A Cultivar Catucaí Amarelo 24/137

Para o sucesso da cafeicultura em regiões de transição ou com estresses ambientais específicos, a escolha do material genético é determinante. A cultivar Catucaíam 24137, registrada no RNC/MAPA e conhecida popularmente como “Catucaí Amarelo 24/137”, destaca-se por sua arquitetura moderna de porte baixo e copa estreita, características que facilitam os tratos culturais e permitem o adensamento de plantio (EPAMIG, 2025).

Agronomicamente, esta cultivar apresenta elevado potencial produtivo e alto vigor vegetativo, com folhas jovens variando de verde a bronze-clara e excelente resposta à poda. Seus frutos maduros possuem coloração amarela, com ciclo de maturação de precoce a médio, e os grãos apresentam peneira 17 acima em torno de 68%, resultando em bebida de ótima qualidade (EPAMIG, 2025). Contudo, um ponto de atenção no manejo desta cultivar é a sua resistência à ferrugem (*Hemileia vastatrix*), considerada apenas moderada. Essa característica exige monitoramento constante e intervenções de controle, especialmente em anos de alta carga pendente (EPAMIG, 2025). Estudos recentes no semiárido brasileiro corroboram que genótipos de *Coffea arabica* podem apresentar plasticidade fisiológica significativa quando submetidos a diferentes condições de sombreamento e manejo, adaptando-se às condições locais (Andrade *et al.*, 2025).

2.3 Desafios Fitossanitários e a Busca por Sustentabilidade

A cafeicultura brasileira, apesar de tecnologicamente avançada, enfrenta desafios crescentes relacionados à tolerância das plantas frente a estresses ambientais (abióticos) e biológicos (bióticos). A biossegurança é uma preocupação constante, visto que a introdução de fitopatógenos no território nacional, facilitada pelo trânsito de pessoas e pela importação de material vegetal (mudas e sementes), representa um risco significativo (Oliveira *et al.*, 2013). Essas ameaças exóticas encontram poucas barreiras naturais, disseminando-se rapidamente e estabelecendo-se como obstáculos econômicos para a produção (Pozebon *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a dependência exclusiva do controle químico convencional tem sido questionada devido aos impactos ambientais e à seleção de patógenos resistentes. A busca por soluções sustentáveis que aumentem a resiliência intrínseca do cafeeiro tornou-se fundamental para o desenvolvimento da cultura. O uso de tecnologias como indutores de resistência e remineralizadores de solo surge como estratégia viável para reduzir a dependência de agroquímicos sintéticos, promovendo uma agricultura mais equilibrada (Silva *et al.*, 2019; Martins *et al.*, 2023).

2.4 Indutores de Resistência: Mecanismos, Trade-offs e Priming

Os indutores de resistência, ou elicitores, são compostos que, ao serem aplicados nas plantas, ativam o sistema imune inato vegetal. Tecnologias como o complexo Cos-OGA, que combina quitina (chito-oligossacarídeos) e pectina (oligogalacturonídeos), atuam mimetizando a presença de patógenos fúngicos, desencadeando cascatas de sinalização defensiva sem a presença real da doença (Biosani, 2023; Biosani, 2025; López-Velázquez *et al.*, 2023).

No entanto, a ativação dessas defesas não ocorre sem custo fisiológico. O conceito de "trade-off" entre crescimento e defesa é central para entender as respostas das plantas a esses insumos. Como os recursos de carbono (fotossintatos) e energia (ATP) são finitos, a alocação desses recursos para a síntese de compostos de defesa secundários ocorre necessariamente em detrimento do crescimento vegetativo primário (Huot *et al.*, 2014). A planta redireciona energia que seria utilizada na divisão e expansão celular para a produção de metabólitos como polifenóis e enzimas oxidativas (Lola-Luz *et al.*, 2022). Esse custo energético é exacerbado em condições de estresse abiótico, como o cultivo a pleno sol, podendo resultar em redução da altura, diâmetro do caule e número de ramos (Andrade *et al.*, 2025).

Apesar da penalidade no crescimento inicial, o uso de elicitores promove o fenômeno conhecido como "priming" ou pré-condicionamento. O priming coloca a planta em um estado de alerta bioquímico, permitindo que ela responda de forma muito mais rápida e robusta a ataques futuros. É uma estratégia metabolicamente eficiente a longo prazo, pois evita o custo de manter defesas constitutivas elevadas o tempo todo, ativando-as plenamente apenas quando necessário (Kermode, 2021)

2.5 Remineralizadores de Solo: Geoquímica e Nutrição Estrutural

Os remineralizadores de solo, frequentemente compostos por pós de rochas silicáticas (como subprodutos de pegmatitos contendo biotita, feldspato e quartzo), representam uma alternativa para a fertilidade sustentável e a resiliência física das plantas. Estes materiais caracterizam-se pela liberação gradual de nutrientes essenciais, como potássio, ferro, magnésio e alumínio, adequando-se às necessidades fenológicas da cultura a longo prazo (Andrade *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2020).

Um dos principais benefícios dos remineralizadores na cafeicultura é o fornecimento de silício (Si). Embora não considerado essencial para todas as plantas, o silício é benéfico, pois acumula-se na epiderme foliar e nas paredes celulares, conferindo resistência mecânica contra a penetração de hifas fúngicas e mandíbulas de insetos, além de reduzir a transpiração cuticular (Eiterer, 2019; Martins, 2023). O uso dessa tecnologia tem demonstrado capacidade de manter

o vigor vegetativo das plantas, podendo compensar os custos energéticos demandados pela ativação de defesas induzidas, equilibrando a relação crescimento-defesa (Costa *et al.*, 2024; Höfig *et al.*, 2024).

2.6 Bioquímica e Fisiologia do Estresse em *Coffea arabica* | Metabolismo Enzimático e Defesa

A resposta defensiva das plantas é frequentemente mediada pela atividade de enzimas oxidativas. A Fenilalanina amônia-liase (PAL) é a enzima chave na rota dos fenilpropanoides, convertendo fenilalanina em ácido trans-cinâmico, precursor de compostos fenólicos, lignina e ácido salicílico (Taiz *et al.*, 2017). O aumento na atividade da PAL e o acúmulo de compostos fenólicos funcionam como uma barreira química e antioxidante (Martins *et al.*, 2022).

É importante notar que a ausência de diferenças estatísticas na atividade de enzimas como peroxidase (POX) e polifenoloxidase (PPO) em momentos específicos não implica ineficácia do tratamento. A regulação da defesa vegetal é complexa e pode envolver outras rotas metabólicas, ou a resposta pode ter ocorrido em um pico anterior à coleta, sugerindo mecanismos de "inducer exclusion" ou outras vias de sinalização (Verhaegen *et al.*, 1980; Aggarwal; Narang, 2022).

2.7 Dinâmica das Clorofilas

Os teores de clorofila (*a*, *b* e total) são indicadores diretos da capacidade fotossintética e do estado nutricional de nitrogênio e magnésio da planta (Leal *et al.*, 2021). Sob condições de estresse luminoso ou hídrico, a degradação de clorofilas pode ser acelerada por processos de autofagia e expressão de genes de senescência (como *Stay-Green* e *NYC1*), visando reciclar nutrientes para órgãos dreno (Kusaba *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2021). Tratamentos que mantêm ou elevam os índices de clorofila sugerem proteção contra o estresse oxidativo e manutenção da maquinaria fotossintética (Xu *et al.*, 2023).

2.8 Fluorescência da Clorofila *a* e Eficiência Fotoquímica

A fluorescência da clorofila *a* constitui uma ferramenta não destrutiva e altamente sensível para avaliar a integridade do Fotossistema II (FSII). Parâmetros como a fluorescência máxima (*F_m*) e a fluorescência variável (*F_v*) indicam a funcionalidade dos centros de reação (Baker, 2008).

Em ambientes de alta irradiância, plantas não aclimatadas podem sofrer fotoinibição, caracterizada pela redução na razão *F_v/F_m*, indicando danos aos centros de reação por excesso de energia (Krause; Weis, 1991; Ramalho *et al.*, 2018). Valores elevados de *F_v*, por outro lado,

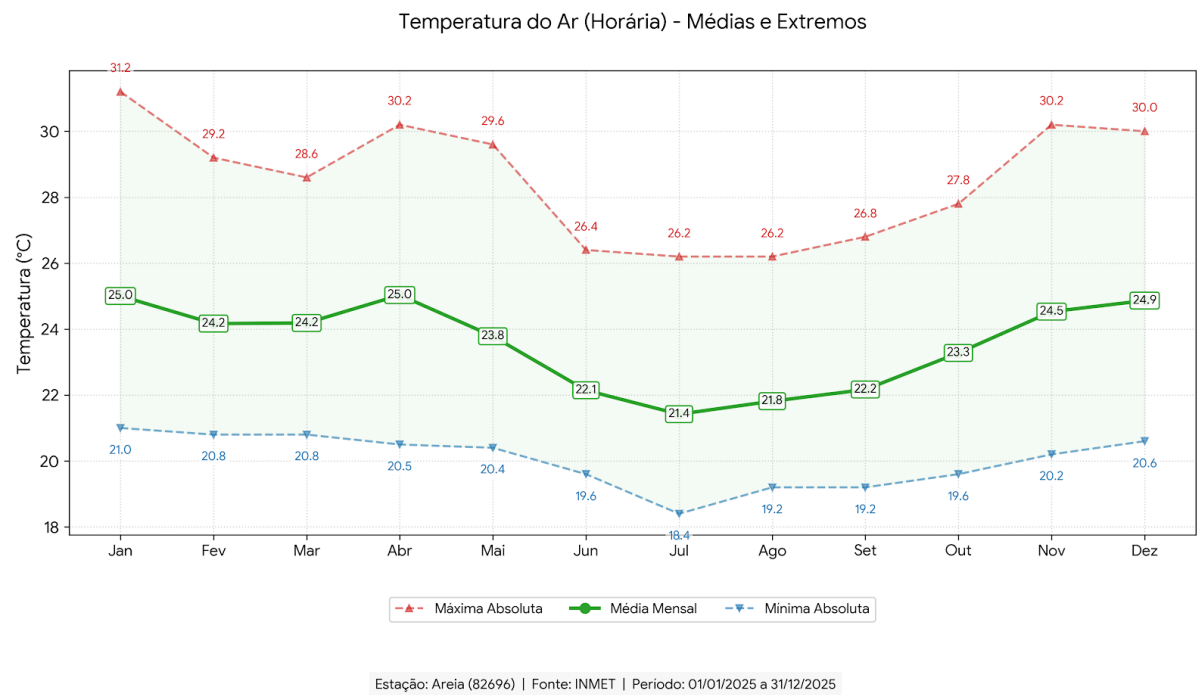
refletem uma alta capacidade de conversão da energia luminosa excitada em transporte de elétrons (química), minimizando a dissipação de calor ou fluorescência (Maxwell; Johnson, 2000; Flexas; Medrano, 2002). O aumento da eficiência fotoquímica em plantas tratadas com bioestimulantes e remineralizadores indica uma "plasticidade de geração de energia", essencial para a sobrevivência e produtividade em condições adversas (Chagas *et al.*, 2020; Sousa, 2024).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

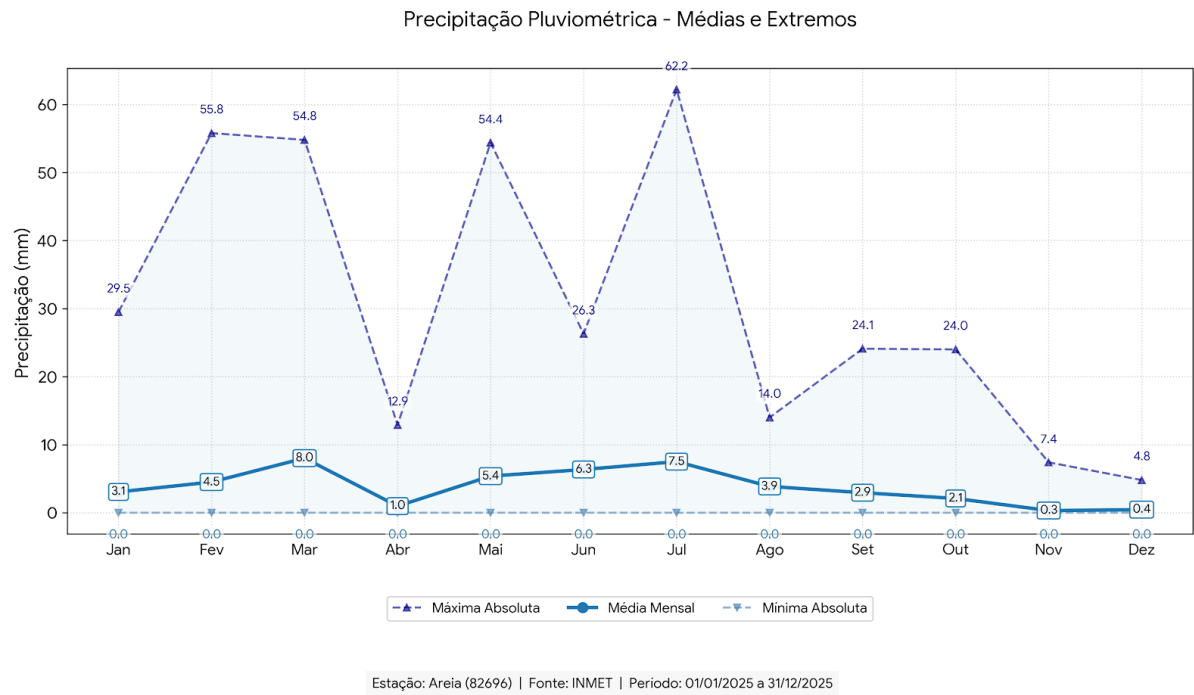
A pesquisa foi realizada na Fazenda Experimental Chã de Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias, Campus II da Universidade Federal da Paraíba, área do Projeto: Resgate da Cafeicultura no Brejo Paraibano, localizado no município de Areia, Paraíba, Nordeste do Brasil (6°57'59" S, 35°42'57" C). A região está localizada na microrregião do Brejo e na mesorregião do Agreste Paraibano, de altitude 570m, temperatura média de 22 °C e precipitação média anual de 1.400 mm. O clima é tropical com verão seco e chuvas outono-inverno (Alvarez *et al.*, 2013). Abaixo podemos verificar os dados da estação meteorológica INMET – AREIA (82696), que fica localizada no referido campus, dados do período de 01/01/2025 à 31/12/2025, o que compreende todo o período do experimento.

Gráfico 1 – Variação mensal da temperatura do ar na estação meteorológica de Areia (82696) em 2025



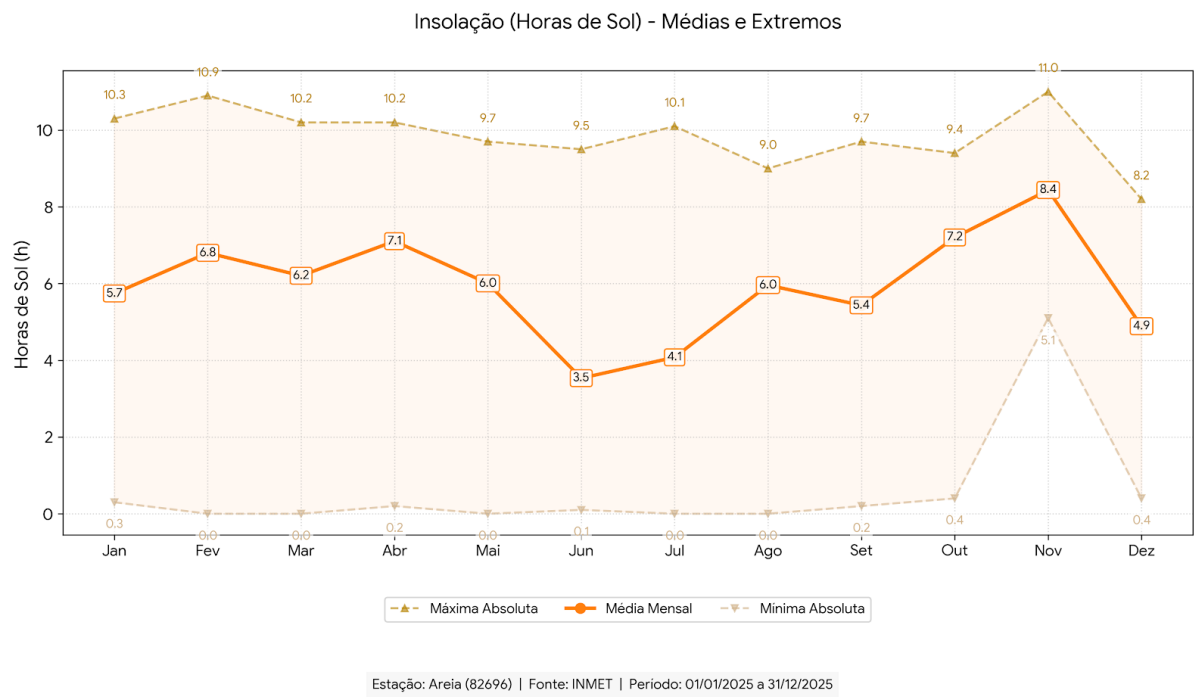
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025).

Gráfico 2 – Médias mensais e picos diários de precipitação na estação meteorológica de Areia (82696) em 2025



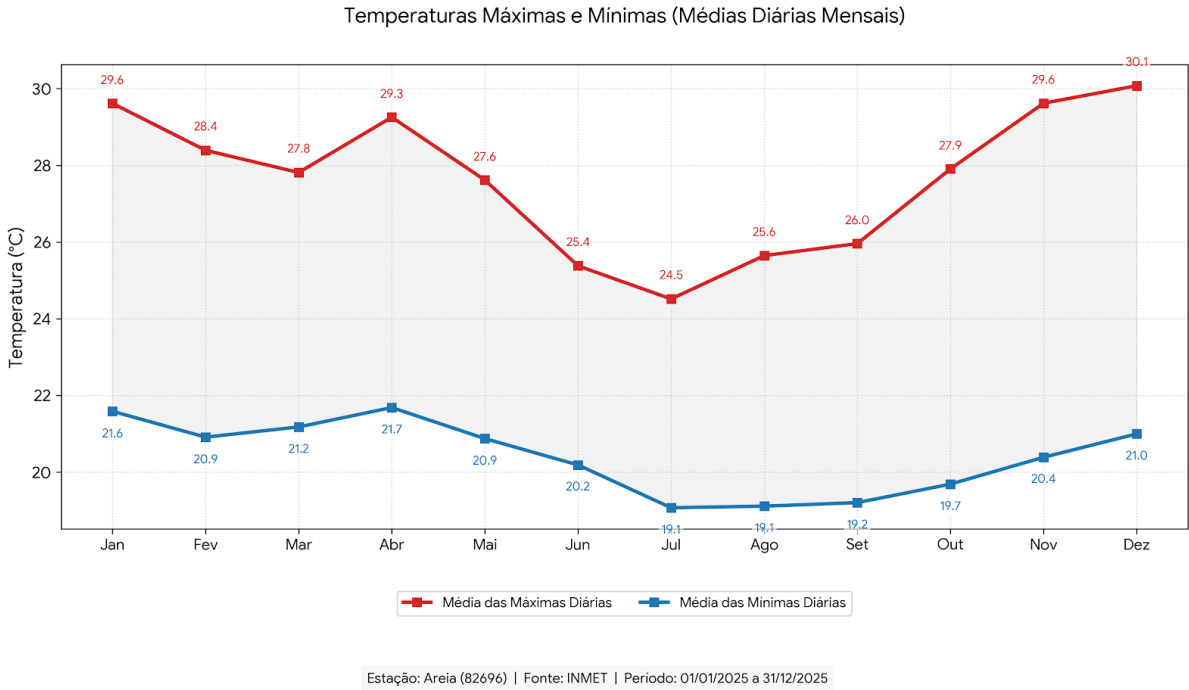
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025).

Gráfico 3 – Médias e extremos de insolação (horas de sol) na estação meteorológica de Areia (82696) em 2025



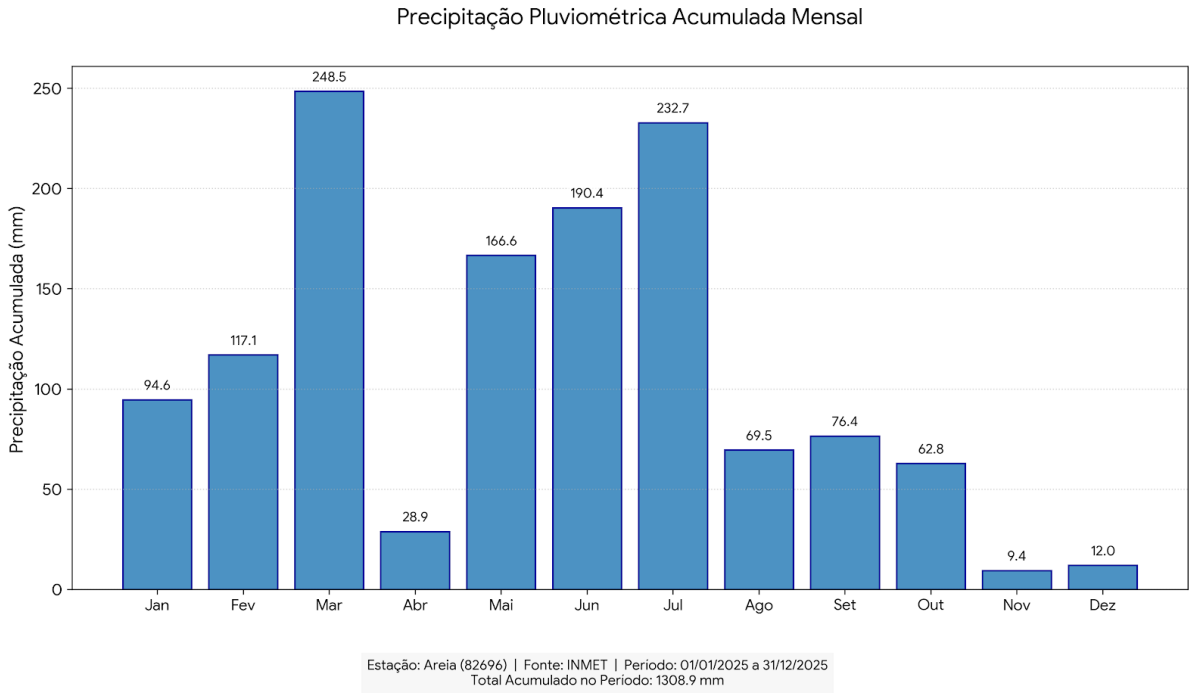
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025).

Gráfico 4 – Médias mensais das temperaturas máximas e mínimas diárias na estação meteorológica de Areia (82696) em 2025



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025).

Gráfico 5 – Precipitação pluviométrica acumulada mensal na estação meteorológica de Areia (82696) durante o ano de 2025



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025).

Antes da instalação do plantio experimental, foram coletadas amostras de solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, para fins de caracterização química (Tedesco *et al.*, 1995) e física (EMBRAPA, 2017) (Tabela 1).

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do solo da área experimental, nas profundidades de 0,20m e 0,40m, antes da instalação do experimento

Atributo	0 - 0,2 m	0,2 - 0,4 m
pH, água 1:2,5	5,65	5,13
MO ^{1/} , g kg ⁻¹	35,73	17,59
P disponível ^{2/} , mg dm ⁻³	19,83	3,47
P-rem ^{3/} , mg L ⁻¹	21,89	13,01
K ⁺ ^{2/} , mg dm ⁻³	27,37	11,73
Ca ²⁺ ^{5/} , cmol _c dm ⁻³	2,88	1,16
Mg ²⁺ ^{5/} , cmol _c dm ⁻³	1,62	0,73
SO ₄ ²⁻ ^{6/} , mg dm ⁻³	10,62	9,23
Na ⁺ ^{2/} , cmol _c dm ⁻³	0,04	0,03
H + Al ^{7/} , cmol _c dm ⁻³	7,42	5,72
Al ³⁺ ^{5/} , cmol _c dm ⁻³	0,00	0,74
SB, cmol _c dm ⁻³	4,61	1,95
t, cmol _c dm ⁻³	4,61	2,69
T, cmol _c dm ⁻³	12,02	8,41
V, %	38,32	25,42
B ^{8/} , mg dm ⁻³	0,24	0,55
Cu ^{2/} , mg dm ⁻³	0,00	0,00
Fe ^{2/} , mg dm ⁻³	466,08	473,53
Mn ^{2/} , mg dm ⁻³	2,12	1,41
Zn ^{2/} , mg dm ⁻³	0,42	0,19
Areia, g kg ⁻¹	440	320
Silte, g kg ⁻¹	60	80
Argila ^{9/} , g kg ⁻¹	500	600
Classe textural	Argiloso	Argiloso
Dens. Solo ^{10/} , g cm ⁻³	1,35	1,35

Fonte: Farias *et al.*, 2009.

Notas: MO = Matéria orgânica; SB = Soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺); t = capacidade de troca catiônica efetiva (SB + Al³⁺); T = Capacidade de troca catiônica a pH (SB + H + Al); V = Saturação por bases = (SB/T) × 100; 1/ Walkley e Black; 2/ Mehlich-1; 3/ fósforo remanescente (Alvarez V. *et al.*, 2000); 4/ Capacidade máxima de adsorção de P; 5/ KCl 1 mol L⁻¹; 6/ Fosfato monocalcico (500 mg L⁻¹ em ácido acético 2 mol L⁻¹); 7/ Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0; 8/ Água quente. 9/ Método do Hidrômetro (Bouyoucos); 10/ Densidade medida pelo método do torrão parafinado.

3.2 Delineamento experimental

O desenho experimental foi realizado como blocos casualizados, comparando na cultivar selecionada (Catucaí Amarelo 24/137) os 4 tratamentos:

T1 - Tratamento controle

T2 - Elicitor Fytosave® (Biosani) à base de Cos-OGA

T3 - Remineralizador a partir de pó de rocha rico em silício

T4 - Tratamento combinado do elicitor Fytosave com o remineralizador

Cada unidade amostral de tratamento foi composta por 4 plantas úteis em fileiras, separadas entre si por 2 plantas como bordas, tendo cada bloco 24 plantas distribuídas em 4 blocos de forma casualizada, totalizando 96 plantas.

3.3 Condução do experimento

As plantas produzidas através de sementes que foram adquiridas da Fundação Procafé e mudas feitas pelo Núcleo de Estudos em Cafeicultura da Universidade Federal da Paraíba, são cultivadas na fazenda experimental Chã de Jardim, foram transplantadas em junho de 2023, estando no início dos tratamentos com um ano após o plantio, sendo mantidas em solo após ser arado até 20 cm, incorporado 2 tha^{-1} de calcário dolomítico, com doses de NPK e esterco como fonte de matéria orgânica, conforme recomendação dada por Ribeiro (1999) na 5ª aproximação para o estado de Minas Gerais.

Os tratamentos com o elicitor Fytosave® foram iniciados, em fevereiro de 2025, 20 meses após a aplicação do remineralizador. Nos tratamentos T2 e T4, o elicitor foi pulverizado via foliar, conforme recomendação do fabricante, na dose de 2,5 L ha^{-1} , realizando a diluição de 156mL para cada 10L de calda, com aplicações quinzenais, em seis repetições.

O remineralizador utilizado nos tratamentos T3 e T4 foi aplicado na área como fundação com dose de 200 g/m linear em sulco, somados a 50g por cova de plantio em junho de 2023.

FytoSave® é um elicitor de defesas vegetais desenvolvido pela Biosani, contendo o complexo patenteado COS-OGA, que combina quitina (chito-oligossacarídeos) e pectina (oligogalacturonídeos) (Biosani, 2023; Biosani, 2025).

O remineralizador utilizado é um subproduto do processamento de pegmatitos do Grupo Seridó, composto principalmente por 90% de mica preta, 9% de feldspato e 1% de quartzo. A biotita, uma mica rica em potássio, ferro, magnésio e alumínio, e o feldspato, fonte de silício, alumínio e potássio, fornecem nutrientes essenciais de liberação gradual ao solo. A presença de quartzo contribui à estrutura do produto. (Andrade *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2020).

4 VARIÁVEIS ANALISADAS

4.1 Crescimento

A avaliação de crescimento inicial foi realizada uma semana após o início das aplicações e a avaliação final 30 dias após a última pulverização, sendo avaliadas, em todas as unidades (96 plantas), as variáveis de: altura da planta, diâmetro do caule, diâmetro da copa e número de ramos. A altura da planta foi medida entre o colo da planta e a gema localizada na ponta do ápice, através de fita métrica graduada em centímetros (cm). O diâmetro do caule foi determinado a partir do nível do solo, no colo da planta, com auxílio de paquímetro digital, e os resultados expressos em milímetros (mm). O diâmetro de copa foi estimado através da média dos diâmetros no sentido leste/ oeste e norte/sul (cm). O número de ramos foi quantificado através de contagem dos ramos produtivos.

4.2 Atividade Enzimática

As atividades enzimáticas foram determinadas 30 dias após as 6 aplicações dos tratamentos nas plantas, analisando as enzimas fenilalanina amônia-liase, peroxidase e polifenoloxidase. A extração do material foi realizada através da maceração de 1 g de folhas em 10 mL de acetato de sódio, até obter-se uma massa homogenia, depositada em Eppendorf e centrifugada a 12.000 rpm durante 15 min a - 4 °C. O sobrenadante foi utilizado para determinar a atividade enzimática e realizada a quantificação das proteínas totais pelo método proposto por Bradford (1976).

A atividade da Fenilalanina Amônia-liase (FAL) foi determinada pela quantificação do ácido trans-cinâmico liberado a partir da fenilalanina, que consiste na adição de 0.5 mL de extrato, 1.5 mL de tampão Tris-HCl (100 mM) (pH 8,8), 0.5 mL de fenilalanina (100 mM) e 0.5 mL de ADE em tubos de ensaio (1,5 ml), sendo incubado à 40 °C por 60 min. A reação foi paralisada com a adição de 0.1 mL de ácido clorídrico (5,0 M). A leitura foi realizada em cubeta de quartzo no espectrofotômetro por meio de variação na absorbância em comprimento de onda 290 nm e expressa em U.A/min/mg de proteína.

A atividade da peroxidase (POX) foi avaliada através da adição de 0.25 mL de extrato enzimático ao meio de reação em cubeta de acrílico (1.5 ml) contendo 0.25 mL de guaiacol (1,7%), 0.75 mL de tampão fosfato 0.1 M (pH 6,0). e 0.25 mL de H₂O₂ (1,8%). A atividade enzimática foi observada em espectrofotômetro, pela variação da absorbância, no comprimento de onda de 470 nm a 25 °C, com a leitura realizada imediatamente após preparo da reação e resultados expressos em U.A/min./mg de proteína.

A atividade da polifenoloxidase (PPO) foi avaliada através da conversão de catecol em quinona, com adição de 0.25 mL de S-metil-catecol 0.6 mM, 0.75 μ L do tampão fosfato de sódio 0.1 M (pH 6,8) e 0.25 μ L de extrato. As amostras foram incubadas a 40 °C durante 15 min e a reação paralisada com adição de 0.8 mL de ácido perclórico. A atividade enzimática foi determinada em espectrofotômetro, pela variação da absorbância, no comprimento de onda de 395 nm, a 25 °C e resultados expressos em U.A/min./mg de proteína.

4.3 Clorofilas

As avaliações de clorofila foram realizadas 15 dias após o término das pulverizações, avaliando o índice relativo de clorofila a, b e total, utilizando o clorofilômetro portátil, modelo ClorofiLOG CFL1030; e leituras feitas em folhas jovens da folha totalmente expandida, entre 7h e 11h, conforme metodologia utilizada por (Leal, 2021). Adicionalmente, para analisar a eficiência do aparato fotoquímico, foi mensurada a fluorescência da clorofila a. As leituras foram realizadas no período noturno com um fluorômetro portátil de excitação contínua, modelo OS30P, aproveitando o escuro natural para garantir a completa adaptação das folhas. Nestas condições, determinou-se a eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) nas mesmas folhas selecionadas para a análise de clorofila, conforme metodologia de (Sousa, 2024).

4.4 Análise Estatística

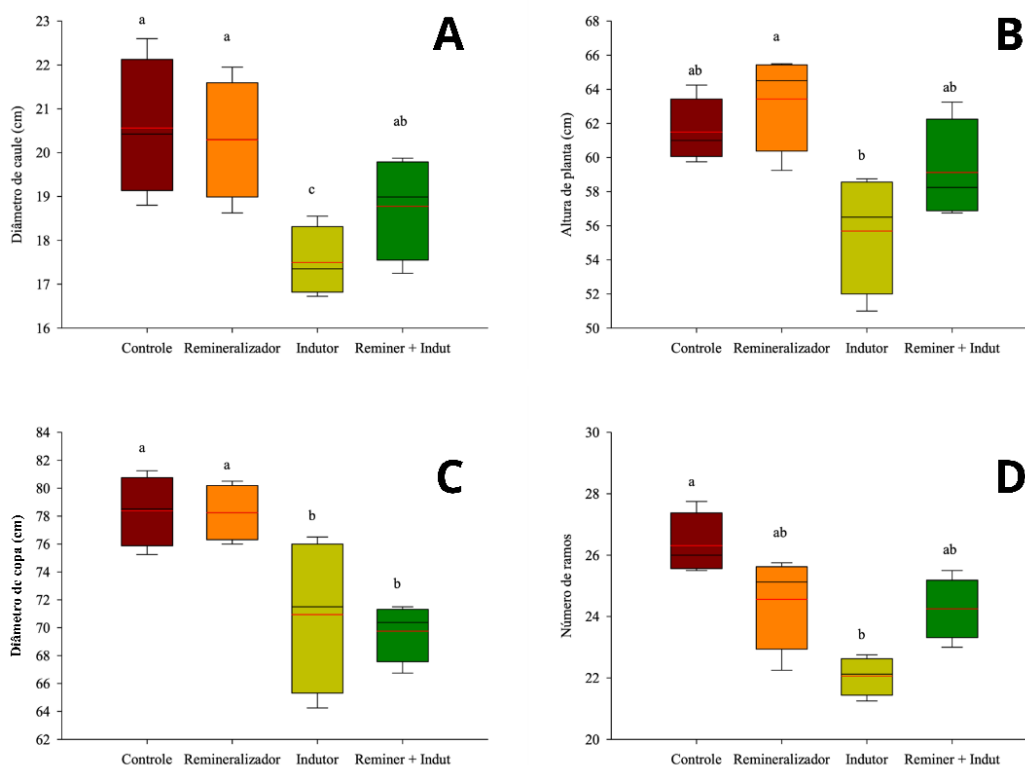
Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Crescimento

A interpretação dos resultados de crescimento indica que há custo energético associado às mudanças fisiológicas no cafeeiro arábica, especialmente quando submetido às condições de alto estresse de um cultivo de sequeiro a pleno sol. A aplicação do indutor de resistência impôs uma clara penalidade ao desenvolvimento vegetativo da planta. Essa supressão de crescimento, observada de maneira consistente no menor diâmetro do caule (**12,1 a 25,0 mm**), número de ramos (**16 a 46**), diâmetro da copa (**50 a 86 cm**) e altura da planta (**35 a 78 cm**) (Figura 1), é uma manifestação clássica do princípio do "trade-off" entre crescimento e defesa. Este conceito postula que os recursos energéticos e de carbono de uma planta são finitos, e a alocação para uma função, como a defesa, ocorre em detrimento de outra, como o crescimento (Huot *et al.*, 2014).

Figura 1 – A Diâmetro de caule, B Altura de planta, C Diâmetro de copa, D Número de ramos, em cafeeiros submetidos aos diferentes tratamentos, letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao receber o estímulo do indutor, a planta redireciona seu metabolismo para a síntese de compostos de defesa secundários, como os polifenóis, um processo que demanda uma

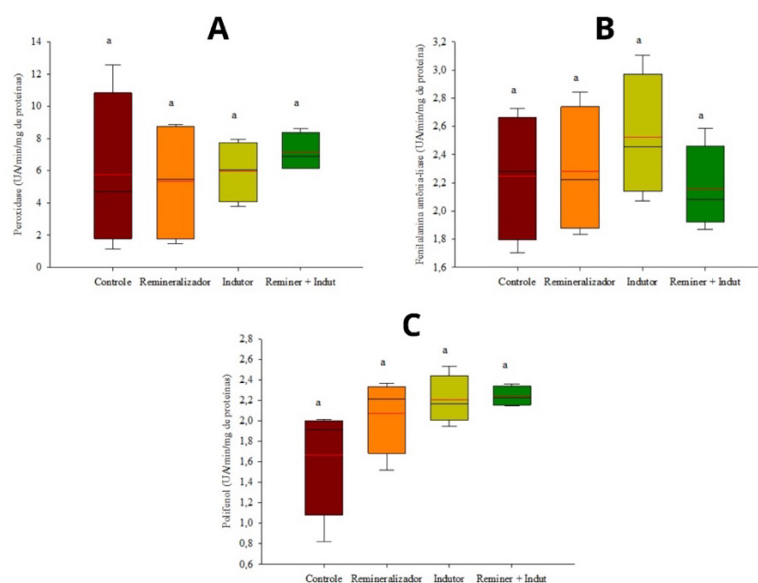
quantidade substancial de fotossintatos e energia na forma de ATP (Lola-Luz *et al.*, 2022). Em um ambiente de pleno sol, onde o cafeeiro arábica necessita manter sua homeostase e evitar os danos da fotoinibição, este desvio de recursos se torna criticamente limitante. A energia que seria investida na divisão e expansão celular, resultando em crescimento, é consumida pela ativação das rotas de defesa. (Andrade *et al.*, 2025). O resultado visível é uma planta menor, porém bioquimicamente mais preparada para um eventual ataque de patógenos ou estresse adicional, visto que o produto estimula os mecanismos naturais de defesa das plantas (Biosani, 2023)

As plantas que não receberam o indutor, como as do grupo controle e as do tratamento T3 (remineralizador) puderam alocar a totalidade de seus recursos para o desenvolvimento, resultando em maior desenvolvimento vegetativo. (Figura 1). A performance dos tratamentos T2 e T4 são particularmente elucidativas: o crescimento vegetativo foi comprometido em detrimento ao custo energético da defesa induzida.

5.2 Atividade enzimática

A análise de atividade enzimática não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 2). A ausência de resposta pode estar relacionada a diferentes fatores fisiológicos não identificados no trabalho.

Figura 2 – Atividade de peroxidase(A), fenilalanina amônia-liase (B) e polifenol oxidase (C) em cafeeiros submetidos aos diferentes tratamentos, letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os achados sugerem que o mecanismo de ação do indutor não é exclusivamente dependente da via enzimática comprovada, podendo envolver outras rotas regulatórias ou mecanismos celulares. Portanto, a eficácia dos indutores não é invalidada, mesmo que a via metabólica investigada não constitua o principal mecanismo de resposta da planta (Verhaegen *et al.*, 1980; Aggarwal; Narang, 2022). Essa resposta da redução na atividade da peroxidase nos cafeeiros tratados, principalmente com o indutor, não significa uma menor capacidade de defesa, mas pode significar uma estratégia defensiva mais inteligente e econômica. A explicação para essa eficiência aprimorada reside na ativação da via dos fenilpropanoides, evidenciada pelo aumento na atividade da enzima-chave Fenilalanina amônia-liase (PAL) e o consequente acúmulo de polifenóis. A PAL atua como um gatilho para a produção de um vasto arsenal de compostos de defesa, que funcionam como um escudo antioxidante preventivo (TAIZ *et al.*, 2017).

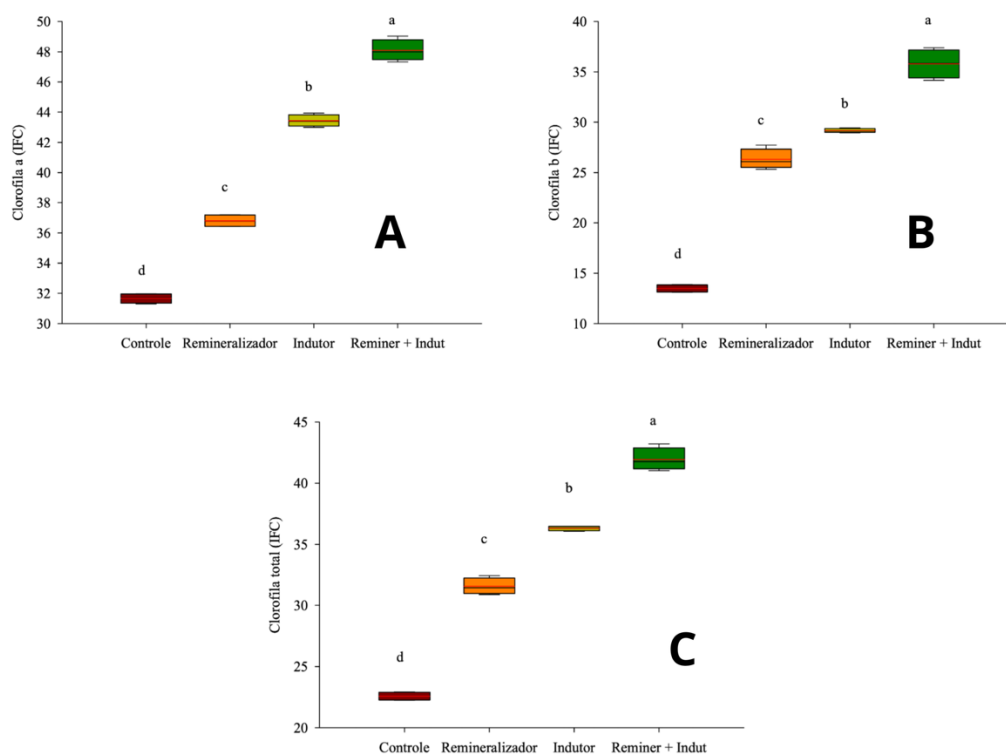
Esse fenômeno, conhecido como "priming" ou pré-condicionamento, prepara a planta para responder de forma mais rápida e robusta a um estresse futuro, sendo um processo metabolicamente menos custoso do que montar uma defesa completa a partir do zero (Kermode, 2021).

5.3 Clorofila

Na clorofila a (Figura 3A), houve um efeito gradativo, com valores mais baixos no controle, seguidos pelo tratamento com remineralizador pelo elicitor na sequência e superiores no tratamento combinado com remineralizador e elicitor.

Semelhantemente foi observado para clorofila b e total (Figura 3 B e C) reforçando o efeito positivo dos tratamentos sobre o metabolismo fotossintético sugerindo maior eficiência na captura de energia luminosa e possivelmente maior resistência do cafeeiro aos estresses ambientais.

Figura 3 – Valores médios de clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) em cafeeiros submetidos aos diferentes tratamentos, 30 dias após o início do experimento, letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

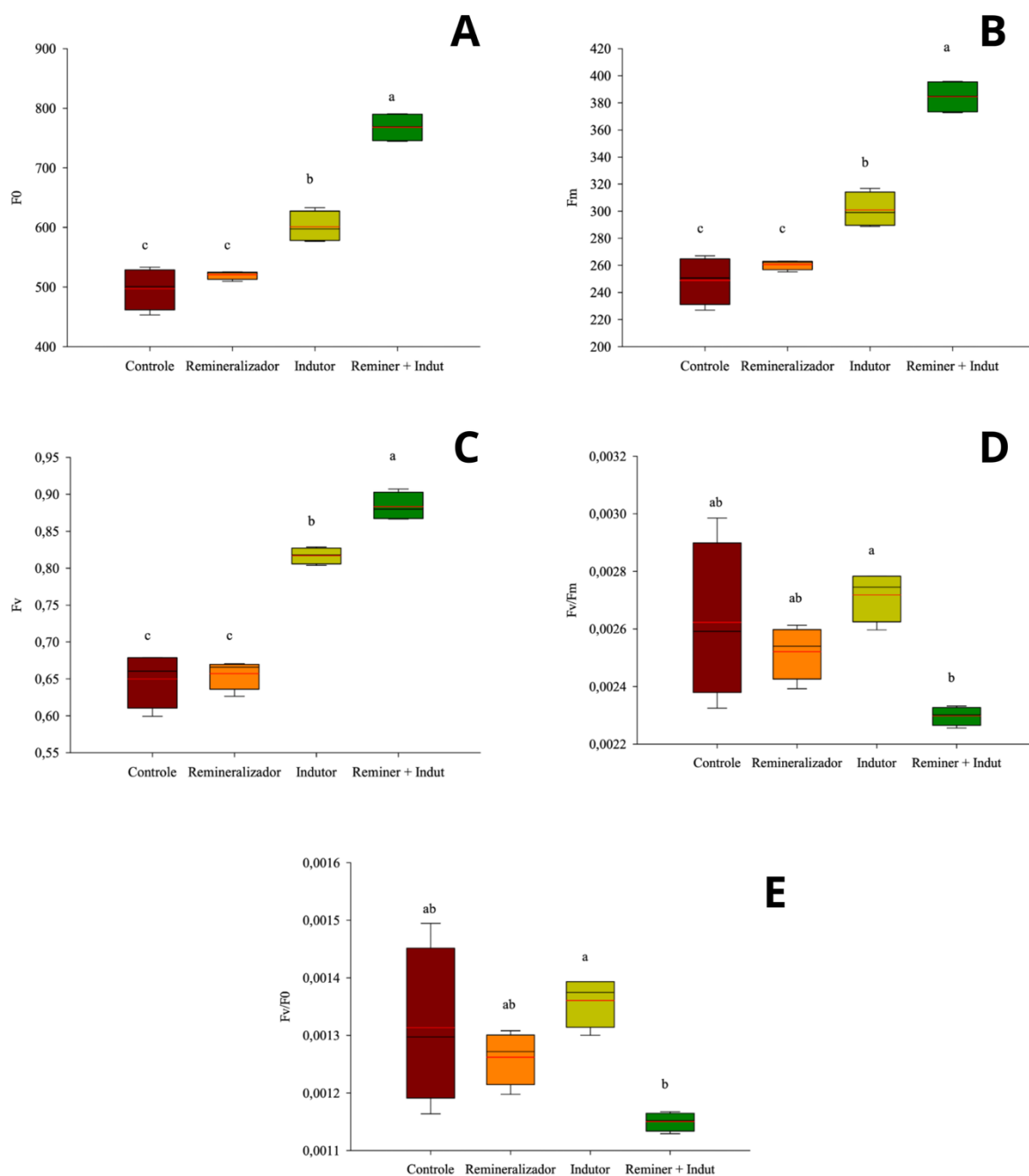
Os resultados observados indicam que apesar do indutor não ter promovido alterações enzimáticas perceptíveis, houve impacto positivo sobre os parâmetros fisiológicos relacionados à fotossíntese podendo estar relacionado à preservação da integridade dos cloroplastos e à menor degradação de pigmentos, mecanismos já descritos na literatura como respostas indiretas à aplicação de indutores (Kusaba *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2023).

5.4 Fluorescência

A análise da fluorescência da clorofila a oferece um diagnóstico preciso sobre a saúde e a eficiência do aparato fotossintético das plantas submetidas ao estudo, revelando como os tratamentos influenciaram a capacidade da planta de utilizar a energia luminosa. Os resultados de fluorescência máxima (Fm) e variável (Fv) indicam, na figura 4A e 4B, que a combinação do remineralizador com o indutor de resistência promoveu uma melhora substancial na plasticidade de geração de energia fotoquímica. O pó de rocha pode estar disponibilizando nutrientes para produção de pigmentos acessórios, possivelmente carotenoides. Este achado é relevante, pois o FSII é o componente mais sensível do processo fotossintético e o primeiro a

ser danificado sob condições de estresse, como a alta irradiância solar a que as plantas foram submetidas (Baker, 2008).

Figura 4 – A, B, C, D e E - Valores médios de fluorescência inicial F0 (A), fluorescência máxima Fm (B), fluorescência variável Fv (C), razão Fv/Fm (D) e razão Fv/F0 (E) em cafeeiros submetidos aos diferentes tratamentos, letras diferentes representam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

As plantas do grupo controle e aquelas que receberam apenas o remineralizador apresentaram os menores valores de Fm e Fv. Isso sugere que, apesar de exibirem maior

crescimento vegetativo, seus sistemas fotossintéticos operavam sob um estado de fotoinibição crônica. Isso ocorre quando a quantidade de energia luminosa absorvida excede a capacidade da planta de utilizá-la na fotossíntese, levando a danos nos centros de reação do FSII e, conseqüentemente, à queda na eficiência quântica (Ramalho *et al.*, 2018). Os baixos valores de Fm indicam uma menor capacidade total de captura de luz, possivelmente por degradação dos complexos antena, enquanto os baixos valores de Fv apontam para uma redução da capacidade de converter essa energia em elétrons para a fotossíntese (Flexas; Medrano, 2002)

A aplicação do indutor isoladamente promoveu um aumento significativo na fluorescência máxima (Fm), sugerindo que a ativação das vias de defesa induziu a planta a fortalecer a estrutura de seu aparato fotossintético como uma medida protetiva. No entanto, o avanço mais notável ocorreu no tratamento combinado (Remineralizador + Indutor), que elevou tanto a fluorescência máxima (Fm) quanto a variável (Fv) a patamares muito superiores. O aumento expressivo da Fv é o indicador forte de um aparato fotossintético saudável, pois representa diretamente a capacidade dos centros de reação do FSII de realizar a fotoquímica (Maxwell; Johnson, 2000).

6 CONCLUSÕES

A aplicação isolada do elicitor Fytosave® prejudica o crescimento vegetativo indicando o gasto energético da ativação de defesas, com recursos redirecionados para síntese de compostos de defesa secundários.

O remineralizador de solo mantém o vigor vegetativo similar ao controle demonstrando que não compromete o desenvolvimento enquanto fornece suporte nutricional. O tratamento combinado apresenta desempenho intermediário, mitigando parcialmente os efeitos negativos do indutor, sugerindo compensação nutricional do gasto energético das defesas.

Apesar que as atividades enzimáticas não foram alteradas, os parâmetros fotossintéticos responderam positivamente. Os índices de clorofila a, b e total aumentaram foram beneficiados pela associação indutor + remineralizador.

A associação entre indutor de resistência e remineralizador representa estratégia promissora para fortalecer o cafeeiro sem comprometer drasticamente o crescimento vegetativo, configurando-se como alternativa viável para o manejo sustentável da cafeicultura regional. Diante desses resultados, recomenda-se a incorporação dessas tecnologias em programas de Manejo Integrado, visando a redução gradual da dependência de defensivos sintéticos. Para consolidar essa estratégia, estudos futuros devem monitorar o impacto dessa associação durante a fase reprodutiva do cafeeiro, avaliando se o vigor vegetativo preservado se traduz em efetivo ganho de produtividade e, principalmente, na qualidade sensorial da bebida, agregando valor ao produto final.

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, R.; NARANG, A. Inducer exclusion, by itself, cannot account for the glucose-mediated lac repression of *Escherichia coli*. **Biophysical Journal**, v. 121, n. 5, p. 820-829, 2022.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 27-32, 2000.
- ANDRADE, M. F. *et al.* Physiological performance of *Coffea arabica* cultivated in different shadings in the Brazilian semi-arid region. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema, v. 10, n. 1, p. 395-410, jan./mar. 2025. DOI: 10.48017/dj.v10i1.3032.
- BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113, 2008.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.
- CARRILHO, M. J. Fazendas de café oitocentistas no Vale do Paraíba. **Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material**, v. 14, n. 1, p. 59-80, 2006.
- CHAGAS, W. F. T. *et al.* Atividade de enzimas antioxidantes em plantas de café submetidas a estresse hídrico. **Coffee Science**, v. 15, p. 1-11, 2020.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
- FARIAS, I. M. S. de *et al.* **Didática e docência: aprendendo a profissão**. 1. ed. Brasília: Liberlivro, 2009. 179 p.
- FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, v. 89, n. 2, p. 183-189, 2002.
- GARCÍA-SECCO, D. *et al.* Plant biostimulants and their influence on plant physiology and crop performance: A review. **Agronomy**, v. 11, n. 8, p. 1618, 2021.
- HINNAH, F. D. *et al.* Estimativa da área foliar da berinjela a partir das dimensões das folhas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 213-218, 2014.
- HU, X. *et al.* Research Progress in the Interconversion, Turnover and Degradation of Chlorophyll. **Cells**, v. 10, n. 11, p. 3134, 2021.

HUOT, B. *et al.* Growth-defense tradeoffs in plants: a balancing act to optimize fitness. **Molecular Plant**, v. 7, n. 8, p. 1265-1287, 2014.

JIANG, Z. *et al.* Autophagy-Related 2 Regulates Chlorophyll Degradation under Abiotic Stress Conditions in Arabidopsis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 12, p. 4515, 2020.

KERMODE, A. R. Plant Biostimulants: A promising approach to enhance crop resilience and productivity. **Annual Review of Plant Biology**, v. 72, p. 543-571, 2021.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42, p. 313-349, 1991.

KUSABA, M. *et al.* Rice NON-YELLOW COLORING1 Is Involved in Light-Harvesting Complex II and Grana Degradation during Leaf Senescence. **The Plant Cell Online**, v. 19, n. 4, p. 1362-1375, 2007.

LEAL, Y. H. *et al.* Gas exchanges and chlorophyll content in green pepper plants under bio-fertilization and times of application. **Bioscience Journal**, v. 37, e37051, 2021.

LOLA-LUZ, A. *et al.* The metabolic cost of induced resistance by biostimulants in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 295, p. 110860, 2022.

LÓPEZ-VELÁZQUEZ, J. *et al.* High-Density Chitosan Induces a Biochemical and Molecular Response in Coffea arabica during Infection with Hemileia vastatrix. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 22, p. 16165, 2023.

MARIZ, C. **Evolução Econômica da Paraíba**. 2. ed. João Pessoa: A União, 1979. 155 p.

MARTINS, J. *et al.* Application of ethylene synthesis inhibitor in arabica coffee on field infestation, preference, and performance of Hypothenemus hampei. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 17, p. 777-786, 2023.

MARTINS, M. Q. *et al.* Phenolic compounds and their role in mitigating abiotic stress in Coffea arabica L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 179, p. 104-115, 2022.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações** edição 2024. São Paulo: Fundação PROCAFÉ, 2024.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

OLIVEIRA, C. *et al.* Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal of Applied Entomology**, v. 137, n. 1-2, p. 1-15, 2013.

PODESTÁ, G. S. *et al.* Vegetative and productive aspects of arabica coffee genotypes in the brazilian semiarid region. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 11, n. 4, e9001, 2024.

POZEBON, H. *et al.* Arthropod Invasions Versus Soybean Production in Brazil: A Review. **Journal of Economic Entomology**, v.113, n. 4, p. 1591-1608, 2020.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RIBEIRO, J. M. L. **Crescimento vegetativo de variedades de coffea arabica L. no município de Areia/PB**. 2024. 41 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2024.

SILVA, J. *et al.* Resistance inducers applied alone or in association with fungicide for the management of leaf rust and brown eye spot of coffee under field conditions. **Journal of Phytopathology**, v. 167, n. 9, p. 529-537, 2019.

SOUSA, S. B. **Desempenho de genótipos de pitaya nas condições edafoclimáticas de Fortaleza, Ceará**. 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

VERHAEGEN, M. *et al.* Abnormal behavior of interferon-induced enzymatic activities in an interferon-resistant cell line. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 77, n. 8, p. 4479-4483, 1980.

XU, B. *et al.* Physiological and transcriptomic analysis of a yellow leaf mutant in watermelon. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 9498, 2023.

ANEXO A — ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ

22

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ

CULTURA DE CAFÉ NO BRASIL

I — BRASIL

Propriedades cadastradas e respectivas plantações em 1920, 1934-1936 e 1942

DISCRIMINAÇÃO SEGUNDO AS UNIDADES FEDERADAS PRODUTORAS

UNIDADES FEDERADAS	Levantamento de 1920		Levantamento de 1934-1936 (*)		Levantamento de 1942	
	Propriedades cafeeiras	Número de cafeeiros	Propriedades cafeeiras	Número de cafeeiros	Propriedades cafeeiras	Número de cafeeiros
1. Alagoas.....	1 309	1 659 957	...	2 400 000	...	2 400 000
2. Amazonas.....	407	304 045	...	...	—	—
3. Bahia.....	17 415	49 799 853	...	134 431 900	...	134 431 900
4. Ceará.....	1 357	9 565 376	...	24 309 000	1 309	6 000 000
5. Distrito Federal.....	537	262 373	...	...	—	—
6. Espírito Santo.....	16 375	114 583 122	...	172 009 453	22 300	172 838 428
7. Goiás.....	2 496	7 359 785	...	14 350 000	989	6 912 837
8. Maranhão.....	58	34 621	...	...	—	—
9. Mato Grosso.....	50	126 624	...	400 000	555	1 597 525
10. Minas Gerais.....	41 393	488 036 200	...	800 878 538	60 457	545 590 508
11. Pará.....	1 645	1 199 677	...	...	—	—
12. Paraíba.....	1 552	7 365 772	...	14 400 000	—	—
13. Paraná.....	1 215	14 287 566	2 593	39 417 976	5 274	61 494 076
14. Pernambuco.....	5 347	29 316 825	...	115 519 000	5 935	50 187 800
15. Piauí.....	3	13 754	...	...	—	—
16. Rio de Janeiro.....	10 766	155 394 793	9 289	279 364 571	9 311	137 401 913
17. Rio Grande do Norte.....	1	4 320	...	...	—	—
18. Rio Grande do Sul.....	25	25 191	...	...	—	—
19. Santa Catarina.....	3 592	3 101 348	...	4 140 000	4 238	4 364 970
20. São Paulo.....	21 341	623 942 616	82 305	1 482 183 274	68 879	1 176 983 872
21. Sergipe.....	745	832 672	...	1 300 000	...	1 300 000
22. Território do Acre.....	394	1 023 673	...	...	...	...
Não especificado.....	—	—	101 311	...	5 643	2 075 346
BRASIL.....	128 424	1 708 418 693	195 598	2 885 184 712	184 808	2 303 429 221

(*) Os dados de 1934 — 1936 são aqui reproduzidos com o objetivo de permitir largas comparações, não devendo ser considerados, em alguns casos, senão como números aproximados, recolhidos em publicações esparsas do DNC e dos governos estaduais.