TEORES DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS EM PIMENTA-DO-REINO E CACAU CONSORCIADO COM SERINGUEIRA EM SOORETAMA-ES

Larissa Racanelli Bergamo, Izabelly Duarte Rigato, Havila Dominick Sousa Machado, Heloisa Araújo dos Santos, Hevelly Lebarke de Almeida, Omar Schmildt, Joabe Martins de Souza

Curso Técnico em Agronegócio da EEEFM Armando Barbosa Quitiba, Rua Vitório Bobbio, 412 - Centro, Sooretama - ES, 29927-000, Brasil. quitibaagronegocio@gmail.com

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar comparativamente os teores de clorofila A, clorofila B e clorofila total em plantas de pimenta-do-reino cultivadas em sistema tradicional e em plantas de cacau inseridas em sistema consorciado com seringueira, no município de Sooretama, ES. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por dois tratamentos e 40 repetições por tratamento, totalizando 120 unidades experimentais. A determinação não destrutiva dos pigmentos foi realizada por meio de clorofilômetro portátil (ClorofiLOG®, modelo CFL 1030). Os resultados indicaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) para todas as frações bioquímicas avaliadas. O sistema de cacau consorciado apresentou superioridade nos teores de clorofila a (38,97), clorofila b (37,85) e clorofila total (76,88) em relação à pimenta-do-reino tradicional (36,27; 34,10 e 70,43, respectivamente). Conclui-se que o arranjo em consórcio favorece a ampliação do aparato fotossintético e a eficiência na captação de fótons sob as condições microclimáticas locais.

Palavras-chave: *Theobroma cacao. Piper nigrum.* Clorofilômetro. Sistemas agroflorestais. Ecofisiologia vegetal.

Área do Conhecimento: Técnico

Introdução

A dinâmica da produção agrícola nos trópicos exige a busca contínua por sistemas de cultivo que otimizem a eficiência fisiológica das plantas sem comprometer a sustentabilidade ambiental. A quantificação de pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas A e B, constitui um indicador biológico fundamental para mensurar o status nutricional, o estresse oxidativo e o potencial produtivo das culturas agrícolas (Taiz *et al*., 2017; Santos *et al*., 2023). Esses pigmentos atuam diretamente na captação da radiação eletromagnética e na conversão da energia solar em energia química, processos vitais para o crescimento vegetativo e a formação de biomassa (Silva *et al*., 2022).

Em ecossistemas agrícolas complexos, a seleção do arranjo espacial e a adoção de consórcios multiestrata a exemplo do cultivo de cacau (*Theobroma cacao* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis*), alteram profundamente o microclima local, modificando a radiação solar incidente, a temperatura do ar e a umidade relativa (Souza *et al*., 2024). Tais modificações exercem pressões seletivas e aclimatizações no aparato fotossintético das espécies vegetais (Oliveira et al., 2023).

Em contrapartida, sistemas de cultivo tradicionais, como o da pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), muitas vezes expõem o dossel a condições de irradiância plena e variações térmicas acentuadas, exigindo respostas adaptativas distintas de alocação de recursos bioquímicos (Serafim *et al*., 2021; Costa *et al*., 2024).

Diante da relevância regional da agricultura familiar e empresarial no norte do Espírito Santo, torna-se imprescindível compreender como diferentes estratégias de manejo e arquitetura de cultivo impactam a eficiência fotoquímica das culturas perenes (Almeida *et al*., 2025). O objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar os teores foliares de clorofila A, clorofila B e clorofila Total em plantas de pimenta-do-reino sob cultivo tradicional e em sistema de cacau consorciado com seringueira em propriedade rural no município de Sooretama-ES.

Metodologia

O experimento foi conduzido em uma propriedade rural localizada no município de Sooretama, Estado do Espírito Santo, região caracterizada por clima tropical quente e úmido. O delineamento experimental adotado foi o Inteiramente Casualizado (DIC), composto por dois tratamentos principais: T1 (Pimenta-do-reino em cultivo tradicional) e T2 (Cacau em sistema consorciado com seringueira), ambo com 5 anos de idade. Para cada tratamento, foram avaliadas 40 repetições, totalizando 120 unidades experimentais amostradas de maneira padronizada.

A amostragem foliar seguiu rigorosos critérios metodológicos de padronização, sendo coletadas folhas fisiologicamente maduras, sadias, livres de pragas ou injúrias mecânicas, e completamente expandidas, localizadas obrigatoriamente na região do terço médio da copa das plantas, visando garantir a representatividade fisiológica do dossel (Santos et al., 2023). A determinação não destrutiva dos teores de pigmentos fotossintéticos — Clorofila a, Clorofila b e Clorofila Total (a + b) — foi executada com o auxílio de um clorofilômetro eletrônico portátil (ClorofiLOG®, modelo CFL 1030, Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, RS).

O princípio de mensuração do equipamento baseia-se na absorção óptica da radiação foliar em comprimentos de onda específicos situados nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo, convertendo a leitura em valores adimensionais denominados Índice de Clorofila Falker (ICF), amplamente validados na literatura científica para estimativas rápidas e precisas do conteúdo de pigmentos (Almeida *et al*., 2025).

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à verificação da pressuposição de normalidade e homogeneidade de variâncias. Em seguida, procederam-se às análises de variância (ANOVA) para a verificação dos efeitos dos tratamentos pelo teste F. Quando verificada significância estatística, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Resultados

A análise de variância (ANOVA) demonstrou a existência de efeito estatisticamente significativo para os tratamentos avaliados em todas as variáveis bioquímicas estudadas, evidenciando que as variações nos teores de pigmentos fotossintéticos decorrem dos diferentes sistemas de cultivo e manejo adotados (Tabela 1).

Tabela 1 - Teores médios de clorofila A, clorofila B e clorofila total em sistema tradicional de cultivo de pimenta-do-reino e cacau consorciado com seringueira.

Tratamento / Cultivo	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total
Pimenta do Reino	36,27 b	34,10 b	70,43 b
Cacau Consorciado	38,97 a	37,85 a	76,88 a
DMS (Tukey 5%)	2,60	3,05	6,30

Fonte: elaborado pelo próprio autor (2026). Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). DMS = Diferença Mínima Significativa.

Conforme os dados consolidados na Tabela 1, o sistema de cacau consorciado com seringueira (T2) superou estatisticamente o cultivo tradicional de pimenta-do-reino (T1) em todas as frações analisadas.

Para a Clorofila A, o cacau consorciado atingiu média de 38,97 ICF, enquanto a pimenta-do-reino registrou 36,27 ICF, com diferença mínima significativa (DMS) de 2,60. Comportamento similar foi observado na fração de Clorofila B, cujos valores foram de 37,85 ICF e 34,10 ICF para o consórcio e o cultivo tradicional, respectivamente. Como reflexo direto dessas frações, a Clorofila Total apresentou o acúmulo máximo de 76,88 ICF no sistema de cacau consorciado, superando significativamente os 70,43 ICF observados na pimenta-do-reino (Tabela 1).

Discussão

Os resultados obtidos revelam que o consórcio agrícola de cacau com seringueira exerce forte influência positiva sobre a concentração de pigmentos fotossintéticos nas folhas. Esse incremento nos teores de clorofilas a, b e total está intimamente associado às modificações microclimáticas proporcionadas pelo estrato superior da seringueira, que atua como regulador da radiação solar direta (Souza *et al*., 2024).

O sombreamento parcial característico dos sistemas agroflorestais reduz a incidência de radiação fotossinteticamente ativa excessiva, induzindo uma resposta adaptativa e plástica da planta no sentido de expandir o complexo antena para maximizar a captura de fótons sob condições de luz difusa (Oliveira *et al*., 2023; Costa *et al*., 2024).

Conforme salientado por Taiz *et al*. (2017) e corroborado por recentes estudos ecofisiológicos de Santos *et al*. (2023), plantas cultivadas sob o dossel de árvores arbóreas perenes tendem a ajustar a estequiometria de seus pigmentos foliares para evitar danos oxidativos e fotoinibição nos centros de reação do fotosistema II. A elevação expressiva nos teores de Clorofila b (37,85 ICF) no cacau consorciado evidencia a eficiência desse mecanismo de aclimatação, uma vez que esta fração atua preponderantemente na absorção de comprimentos de onda complementares dentro do complexo coletor de luz (Almeida *et al*., 2025).

Por outro lado, o sistema tradicional de pimenta-do-reino, embora apresente capacidade adaptativa consolidada em monocultivos a pleno sol ou suportes individuais, registrou menores concentrações absolutas de pigmentos fotossintéticos (70,43 ICF para Clorofila Total). De acordo com Serafim *et al*. (2021) e Silva *et al*. (2022), ambientes abertos e com menor modulação térmica podem impor estresses radiativos e hídricos transitórios, fazendo com que a cultura priorize mecanismos de dissipação térmica e alocação de carbono para estruturas de proteção em detrimento da síntese líquida de pigmentos clorofilianos.

Dessa forma, a disparidade observada reforça que a plasticidade fenotípica das espécies perenes responde de maneira direta ao arranjo espacial e à complexidade microclimática do habitat produtivo (Souza *et al*., 2024).

Conclusão

O sistema de cacau consorciado com seringueira em Sooretama-ES promoveu incremento estatisticamente superior no acúmulo de pigmentos fotossintéticos (Clorofila a, Clorofila b e Clorofila Total) em comparação ao cultivo tradicional de pimenta-do-reino.

A modulação ambiental gerada pelo consórcio favorece a otimização do aparato fotossintético e a aclimatação foliar sob as condições edafoclimáticas tropicais da região.

O arranjo consorciado consolida-se como uma estratégia agronômica e fisiológica altamente eficiente para o fortalecimento da sustentabilidade produtiva e da sanidade vegetal em sistemas perenes no norte capixaba.

Referências

ALMEIDA, R. F.; MARTINS, J. C.; COSTA, P. H. Dinâmica ecofisiológica e biométrica de culturas perenes sob diferentes matrizes de sombreamento no sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 29, n. 4, e8412, abr. 2025.

COSTA, M. A.; OLIVEIRA, S. B.; FERREIRA, L. K. Respostas bioquímicas e estruturais de fruteiras tropicais e trepadeiras em consórcios agroflorestais. **Bragantia**, Campinas, v. 83, e2024015, maio 2024.

OLIVEIRA, T. M.; SILVA, R. E.; SOUZA, A. P. Plasticidade fenotípica e eficiência fotoquímica em espécies cultivadas sob sistemas multiestrata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 58, e03102, out. 2023.

SANTOS, L. C.; ALMEIDA, F. J.; LIMA, V. M. Indicadores ecofisiológicos e teores de clorofila em copas agrícolas sob variações microclimáticas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 54, n. 2, p. 1-10, jul./set. 2023.

SERAFIM, M. E.; SILVA, C. A.; OLIVEIRA, R. B. Alterações microclimáticas e desempenho produtivo em sistemas de cultivo de *Piper nigrum* L. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 78, n. 4, e20200112, ago. 2021.

SILVA, J. P.; GOMES, M. M.; CARDOSO, D. R. Fotossíntese e partição de energia em cultivos tropicais sob diferentes condições de irradiância. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 44, e56102, fev. 2022.

SOUZA, K. N.; PEREIRA, H. R.; VIEIRA, G. H. Interações microclimáticas e ecofisiologia em consórcios de *Theobroma cacao* e *Hevea brasiliensis*. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 71, e71025, jun. 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio técnico e institucional de propriedades rurais parceiras no município de Sooretama-ES, e apoio e incentivo da Secretaria de Educação do Estado do Espírito Santo-SEDU/ES.