

SCALPE 2.0: SISTEMA DE CONTROLE AUTOMATIZADO PARA SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM CULTIVOS PROTEGIDOS

WESLLEY CANDIDO PEREIRA¹; ELIAS CASSIANO COSTA NETO²; ISLAN DE MELO SILVA³ E MARCIO AZEVEDO ROCHA⁴

¹Departamento de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Alagoas (IFAL); Brasil, wcp1@aluno.ifal.edu.br; ORCID (<https://orcid.org/0009-0002-0935-0026>)

²Departamento de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Alagoas (IFAL); Brasil, eccn1@aluno.ifal.edu.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-8465-2633>)

³Departamento de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Alagoas (IFAL); Brasil, ims3@aluno.ifal.edu.br; ORCID (<https://orcid.org/0009-0005-5215-4719>)

⁴Departamento de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Alagoas (IFAL); Brasil, marcio.rocha@ifal.edu.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-9300-8076>)

1 RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema automatizado para controle de intensidade e proporção espectral de lâmpadas LED aplicadas em cultivos protegidos. O sistema SCALPE 2.0 utiliza lâmpadas RGB para melhorar a fotossíntese das plantas, controlando a iluminação de acordo com a demanda de diferentes cultivos. O *hardware* do sistema foi testado com sucesso, demonstrando um controle de proporção e intensidade luminosa. O projeto também inclui um aplicativo de controle remoto via *Bluetooth*, facilitando a gestão da iluminação. Os resultados indicam que o sistema pode reduzir custos e aumentar a eficiência energética em cultivos protegidos.

Palavras-chave: automação agrícola, iluminação suplementar, LED.

**PEREIRA, W. C.; NETO, E. C. C.; SILVA, I. M.; ROCHA, M. A.
SCALPE 2.0: AUTOMATED LIGHTING CONTROL SYSTEM FOR PROTECTED CULTIVATION**

2 ABSTRACT

This study describes the development of an automated system for controlling the intensity and spectral ratio of LED lamps in protected cultivation. The SCALPE 2.0 system uses RGB lamps to optimize plant photosynthesis by adjusting the lighting according to the demand of different crops. The system hardware was successfully tested, demonstrating control of the proportion and light intensity. The project also includes a remote control app via Bluetooth, facilitating lighting management. The results show that the system can reduce costs and increase energy efficiency in protected cultivation.

Keywords: agricultural automation, supplemental lighting, LED.

3 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar no Brasil é essencial para a produção de hortaliças e frutíferas, representando até 80% desse mercado (Hoffmann, 2014). Para aumentar a produtividade e otimizar recursos, muitos agricultores têm adotado o cultivo protegido em estufas, esse método tem crescido nos últimos anos devido às suas vantagens, como menor uso de área plantada, proximidade com centros urbanos e a maior eficiência no uso de recursos (He *et al.*, 2016; Maham *et al.* 2020). No entanto, a necessidade de suplementação luminosa tem se tornado um desafio, especialmente quando há competição por luz solar entre as plantas, o que impacta a fotossíntese e, consequentemente, a produtividade, como aponta Boonman *et al.* (2006).

Estudos indicam que lâmpadas de LED são eficazes na suplementação luminosa para cultivos protegidos (Brazaitytè *et al.*, 2010; Xiaoying *et al.*, 2012), sendo as faixas próximas ao vermelho (~660 nm) e azul (~450 nm) as mais adequadas. No entanto, a maioria dos sistemas utiliza espectros fixos, limitando sua adaptação. A iluminação suplementar com LEDs permite controle preciso da intensidade e proporção espectral, aumentando a produtividade (Pereira *et al.*, 2022; Gomez *et al.*, 2013; Pinheiro, 2016). O SCALPE 2.0 foi desenvolvido para otimizar esses parâmetros, oferecendo uma solução automatizada e acessível para agricultores, especialmente em áreas de cultivo protegido.

O objetivo deste projeto foi desenvolver um sistema de controle para a suplementação luminosa utilizando LEDs, permitindo a personalização da iluminação de acordo com a necessidade específica de cada cultivo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do SCALPE 2.0 iniciou-se com uma pesquisa sobre os efeitos da luz suplementar em cultivos protegidos, identificando a necessidade de controle da intensidade luminosa e da proporção espectral. O sistema foi projetado utilizando lâmpadas de LED RGB, que oferecem flexibilidade na escolha das cores emitidas (vermelho e azul), e um microcontrolador ESP32 para realizar o controle.

Etapas de desenvolvimento:

- Capacitação dos estudantes: Realizou-se capacitações em eletrônica analógica e digital, com foco na montagem de circuitos e no uso do ESP32.
- Construção do circuito: Projetou-se o circuito com base em tecnologias de controle de luminosidade e automação, utilizando transistores e resistores. A Modulação por Largura de Pulso - *Pulse Width Modulation* (PWM) foi utilizada para o controle das lâmpadas.
- Desenvolvimento do software: Criou-se um aplicativo no *MIT App Inventor*, para permitir o controle remoto do sistema via *Bluetooth*, com isso, facilitou-se a operação do equipamento por usuários distantes.
- Testes de laboratório: Testou-se o sistema em laboratório para garantir a controlabilidade dos parâmetros de iluminação, verificar a eficiência energética e a viabilidade do controle de intensidade luminosa e proporção espectral.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes de controle de proporção e intensidade luminosa obtidos indicam que o SCALPE 2.0 se encaminha para ser uma solução eficiente de suplementação luminosa em cultivos protegidos. Outros trabalhos evidenciam

alguns testes realizados com mini tomates, observando-se um aumento de 16% na produção de frutos próprios para

comercialização, quando comparado a cultivos sem suplementação luminosa (Pinheiro, 2016), como visto a seguir.

Tabela 1. Produtividade de mini tomate com e sem a aplicação da suplementação luminosa com LEDs.

LED	PRODUTIVIDADE DE MINI TOMATE		P TOTAL
	PRODUTO COMERCIAL	PRODUTO NÃO COMERCIAL	
	Kg/m ²		
COM	16,9	1,7	18,7
SEM	14,5	2,5	17
GANHO	16,6%	-32%	10%

Fonte: Adaptado de Pinheiro (2016).

Figura 1. Mini tomate com e sem a aplicação da suplementação luminosa com LEDs.



Fonte: Adaptado de Pinheiro (2016).

Adicionalmente, o uso de suplementação luminosa em cultivos de alface resultou em plantas mais robustas,

com melhor desenvolvimento quando expostas à combinação de luz vermelha e azul (Mello, 2016), observado na Figura 2.

Figura 2. Comparativo de cultivo de alface, para diferentes tipos de proporção de luz.



Fonte: Adaptado de Mello (2016).

A flexibilidade do sistema SCALPE 2.0, que permite ajustes precisos na intensidade e proporção espectral, o diferencia de outros sistemas de iluminação, como o LED *Grow Light*. Esse controle refinado é amplamente facilitado pela

interface *touchscreen* intuitiva, que oferece aos usuários a capacidade de personalizar rapidamente os parâmetros de iluminação de acordo com as necessidades específicas de cultivo, observado a seguir.

Figura 3. Telas projetadas para o *display*



Fonte: Autores.

As telas *touch*, modernas, garantem uma interação fácil e eficiente, aumentando a precisão do ajuste dos níveis de luz.

Além disso, o protótipo final do SCALPE 2.0 foi desenvolvido com foco na praticidade e eficiência, apresentando um design compacto e robusto que facilita a instalação e manutenção. O sistema mostrou

um custo-benefício superior, com menor consumo energético e maior controle operacional, tornando-o uma solução viável para agricultores de pequeno e médio porte. Abaixo estão imagens do protótipo final e da interface *touchscreen*, destacando a acessibilidade e inovação do sistema.

Figura 4. Protótipo final do sistema SCALPE 2.0



Fonte: Autores.

O sistema SCALPE 2.0 apresenta funcionalidades técnicas avançadas para controle de fitas de LED RGB 5050, como o ajuste preciso da proporção de cores vermelho e azul, variando entre 0 e 100%, e o controle total da potência dos LEDs, ajustável de 0 a 100%. Além disso, o sistema integra-se à luz solar, utilizando coordenadas geográficas para ajustar automaticamente os horários de iluminação com base no nascer e pôr do sol, via conexão Wi-Fi.

Projetado para ambientes de cultivo protegido, o SCALPE 2.0 proporciona alta flexibilidade e eficiência energética, sendo capaz de operar até 200 metros de fitas de LED, com corrente máxima de 0,76A e tensão de 12V DC, o que garante menor consumo de energia e maior segurança operacional. Em comparação com sistemas LED *Grow Light*, que operam em corrente alternada e possuem limitações de área coberta e flexibilidade, o SCALPE 2.0 oferece ajustes precisos sem a necessidade de troca de equipamentos, além de controle remoto via aplicativo.

Em termos de custo, o SCALPE 2.0 é mais acessível, com um investimento típico entre R\$1.230,00 e R\$1.898,00 para 20 fitas de LED, enquanto os sistemas LED *Grow Light* exigem um investimento mais alto, entre R\$1.552,00 e R\$4.404,00, para cobrir a mesma área. A combinação de custo mais baixo, maior flexibilidade e controle superior faz do SCALPE 2.0 uma solução tecnicamente mais eficiente e econômica para diversas aplicações de cultivo.

6 CONCLUSÕES

O SCALPE 2.0 oferece uma solução tecnológica inovadora para a suplementação luminosa em cultivos protegidos, com potencial para aumentar a produtividade e reduzir os custos operacionais dos agricultores. A capacidade de controlar remotamente a iluminação e ajustar a

proporção espectral conforme as necessidades de cada cultivo torna o sistema uma ferramenta valiosa para diferentes tipos de produção agrícola. A implementação de melhorias tecnológicas, como o uso de LEDs RGB e o controle via aplicativo, proporcionou maior flexibilidade e eficiência no uso da iluminação suplementar.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL) pelo suporte financeiro recebido por meio do programa PIBITI, e à equipe da PRPPI pela aprovação do projeto “SCALPE 2.0”. Agradecemos também ao Laboratório de Robótica do IFAL pela assistência técnica e àqueles que colaboraram na produção e testes do sistema.

8 REFERÊNCIAS

BOONMAN, A.; ANTEN, N. P.; DUECK, T. A.; JORDI, W. J.; VAN DER WERF, A.; VOESENEK, L. A.; PONS, T. L. Functional significance of shade-induced leaf senescence in dense canopies: an experimental test using transgenic tobacco. *The American Naturalist*, Chicago, v. 168, p. 597-607, 2006.

BRAZAITYTĖ, A.; DUCHOVSKIS, P.; URBONAVIČIŪTĖ, A.; SAMUOLIENĖ, G.; JANKAUSKIENĖ, J.; SAKALAUSKAITĖ, J.; ŠABAJEVIENĖ, G.; SIRTAUTAS, R.; NOVIČKOVAS, A. The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants. *Zemdirbyste-Agriculture*, Kėdainiai, v. 97, n. 2, p. 89-98, 2010.

GOMEZ, C.; MORROW, R. C.; BOURGET, C. M.; MASSA, G. D.; MITCHELL, C. A. Comparison of intracanopy light-emitting diode towers and

overhead high-pressure sodium lamps for supplemental lighting of greenhouse-grown tomatoes. **HortTechnology**, Alexandria, v. 23, n. 1, p. 93-98, 2013.

HE, X.; QIAO, Y.; LIU, Y.; DENDLER, L.; YIN, C.; MARTIN, F. Environmental impact assessment of organic and conventional tomato production in urban greenhouses of Beijing city, China. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 134, n. 1, p. 251-258, 2016.

HOFFMANN, R. A. agricultura familiar produz 70% dos alimentos consumidos no Brasil? **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 417-421, 2014.

MAHAM, S. G.; RAHIMI, A.; SUBRAMANIAN, S.; SMITH, D. L. The environmental impacts of organic greenhouse tomato production based on the nitrogen-fixing plant (Azolla). **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 245, n. 1, article 118679, p. 1-9, 2020.

MELLO, Simone da Costa. **Iluminação com LED para cultivo indoor**. Piracicaba: USP, 2016.

PEREIRA, W. C.; SILVA, I. M.; FLORENTINO, M. T. B.; SILVA, M. H. B. **Sistema de Controle Automatizado de Luminosidade e Proporção Espectral para Suplementação Luminosa em Cultivo Protegido**. Palmeira dos Índios: IFAL, 2022.

PINHEIRO, Renes Rossi. **Suplementação luminosa no tomateiro cultivado em diferentes sistemas de condução em ambiente protegido**. 2016. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

XIAOYING, L.; SHIRONG, G.; TAOTAO, C.; ZHIGANG, X.; TEZUKA, T. Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 11, n. 22, p. 6169-6177, 2012.