

Estado da publicação: Não informado pelo autor submissor

Efeitos provenientes da aplicação de iluminação LED em um modelo de plantio vertical para cultivo de alface crespa

Marcos Tiago Araújo de França, Augusto Vagheti Luchese, Pedro Luiz de Paula Filho, Fabiana Costa de Araújo Schutz

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.3691>

Submetido em: 2022-02-27

Postado em: 2022-03-08 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

Effects from the application of LED lighting in a vertical planting model for lettuce cultivation.

Efeitos provenientes da aplicação de iluminação LED em um modelo de plantio vertical para cultivo de alface crespa.

Marcos Tiago Araújo de França¹ Augusto Vagheti Luchese² Pedro Luiz de Paula Filho³ Fabiana Costa de Araújo Schutz⁴

ABSTRACT

This work aimed to analyze the application of artificial lighting on crispy lettuce cultivars, through the use of LEDs, applied to a new planting methodology known as Vertical Farms. For this purpose, a prototype vertical planting model was built, consisting of 21 isolated production units, equipped with sensors to collect environmental data and actuators for controlling RGB intermittent lighting and hydroponic irrigation. With the built model, two experimental tests were carried out: evaluation of the application of different light treatments (red, blue, purple, white) and application of different white light intensities (36 LEDs, 54 LEDs and 72 LEDs). In both experiments, lasting 30 days, the analyzes of the total fresh mass weight, dry mass weight, leaf area and number of leaves were carried out. of the white spectrum (combination between red, blue and green), presented the best results in all analyzed

variables, followed by the purple spectrum (combination between red and blue), in contrast, ^{1*}Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3473-7305>. E-mail: tiagitofranca04@gmail.com. Autor para correspondência.

²Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Ciências Agrônomas, Palotina, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3389-9986>.

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento Acadêmico de Computação (DACOM) Medianeira, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6291-9237>.

⁴Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento Ciências Ambientais e Biológicas (DAAMB) Medianeira, PR, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3424-1561>.

the red treatment presented the worst results, considering that the referring samples at the same they perished after 15 DAT. In the second experiment, after a linear regression analysis, it was observed that the light intensity had an influence on all the morphological parameters analyzed, with the exception of the number of leaves (indiscriminate length).

Keywords: agriculture, vertical farming, led, iot

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a análise da aplicação de iluminação artificial sobre cultivares de alface crespa, através do uso de LEDs, aplicados a uma nova metodologia de plantio conhecida como Fazendas Verticais. Para este fim foi realizada a construção de um modelo de plantio vertical protótipo, composto por 21 unidades de produção isoladas, dotadas de sensores para recolhimento de dados ambientais e atuadores para controle de iluminação intermitente RGB e irrigação hidropônica. Com o modelo construído, foram realizados dois ensaios experimentais: avaliação da aplicação de diferentes tratamentos de luz (vermelho, azul, roxo, branco) e aplicação de diferentes intensidades de luz branca (36 LEDs, 54 LEDs e 72 LEDs). Em ambos os experimentos, de duração de 30 dias, foram feitas as análises do peso total da massa fresca, peso da massa seca, área foliar e número de folhas. No primeiro experimento, realizado durante o verão e com uso de climatização, a aplicação do espectro branco (combinação entre vermelho, azul e verde), apresentou os melhores resultados em todas as variáveis analisadas, seguida pelo espectro roxo (combinação entre vermelho e azul), em contrapartida o tratamento vermelho apresentou os piores resultados, considerando que as amostras referentes ao mesmo pereceram após 15 DAT (dias após transporte). No segundo experimento, após uma análise de regressão linear, observou-se que a intensidade de luz

apresentou influência em todos os parâmetros morfológicos analisados, com exceção do número de folhas (comprimento indiscriminado).

Palavras-chave: agricultura, fazenda vertical, led, iot

INTRODUÇÃO

As Fazendas Verticais ou modelos de plantio vertical têm como premissa o cultivo de alimentos sem solo, com uso de técnicas de irrigação hidropônica, em um ambiente isolado, como no plantio em casas de vegetação (DESPOMMIER, 2009; RANGELOV & STAYKOVA, 2020). Contudo, diferentemente de uma casa de vegetação, a área plantada é disposta no formato de colunas, que possui vários andares, otimizando a produção em relação à área de plantio, que por sua vez é disposta de ferramentas tecnológicas para o controle ambiental (DESPOMMIER, 2010).

As Fazendas Verticais se apresentam como uma alternativa ao plantio tradicional, apresentando uma produção de qualidade e com o uso de métodos de irrigação eficiente. Essas fazendas já são uma realidade, com inúmeros casos de sucesso na produção de alimentos, destacando-se o cultivo de folhosas (DESPOMMIER, 2014; KOERT, 2018).

As Fazendas Verticais podem ser classificadas como sistemas de cultivo indoor, que necessitam do uso de fontes de iluminação artificial, entre estas destaca-se a tecnologia LED, que, diferentemente de outras fontes tradicionais, apresenta um baixo consumo energético e uma flexibilidade no controle da quantidade e qualidade da iluminação (DESPOMMIER, 2011; RANGELOV & STAYKOVA, 2020). Faz-se necessário o uso de iluminação artificial, tendo em vista a inviabilidade do uso de iluminação natural na produção, devido ao design das colunas de cultivo.

O processo de fotossíntese, que é responsável pelo crescimento das plantas, envolve a absorção de energia luminosa variando entre 400nm a 700nm, região conhecida como de

Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA). Essa energia luminosa, por sua vez, é recebida em pequenos pacotes conhecidos como fótons (BOYLE, 2004; RAVEN et al., 2013). Nesse contexto, alguns fótons apresentam-se mais eficientes para o processo fotossintético, destacando-se o espectro vermelho (600nm – 700nm) e azul (400nm – 500nm), que resultam em uma melhor taxa de absorção de CO₂ (MCCREE, 1971).

Em estudos envolvendo a aplicação de diferentes espectros luminosos com uso da tecnologia LED, verificou-se que em determinadas plantas o direcionamento de diferentes combinações espectrais alterou suas características morfológicas, como o crescimento foliar, pigmentação e concentração de nutrientes (SNOWDEN et al., 2016; MICKENS et al., 2018; KEYSER et al., 2019). Diferentemente do espectro vermelho e azul, os efeitos do direcionamento de iluminação verde ainda é objeto de debate na comunidade científica. Os resultados envolvendo a suplementação do verde variavam de acordo com a cultura utilizada (WENT, 1957; KIM et al., 2004).

Apesar de promissora, a utilização de iluminação LED como fonte de iluminação primária encontra desafios, desta forma este trabalho visou à execução de um estudo de caso envolvendo a aplicação de diferentes combinações espectrais e proporções para cultivo de Alface-crespa (*Lactuca sativa var. crispa*).

MATERIAL E MÉTODOS

Protótipo de Modelo de Plantio Vertical

Objetivando a experimentação com uso de LEDs para cultivo em ambiente controlado, inicialmente foi elaborado um projeto protótipo referente às torres de produção que compõem a Fazenda Vertical (Figura 1A). Dentre as categorias de construção disponíveis, optou-se pelo uso de sistemas de pilhas horizontais, mais especificamente o uso de torres multiníveis

isoladas, que por sua vez possibilitam a aplicação de diferentes condições ambientais sem a ocorrência de interferência entre os níveis (BEACHAM et al., 2019).

Cada torre de produção é dotada de uma unidade de controle central instalada no nível superior, sendo a conexão entre esta e os equipamentos presentes nos níveis inferiores de produção realizada através do uso de caixas de conexão cegas instaladas nos mesmos. Assim, foi possível a instalação de hardware independente para cada nível de produção.

Os processos de automatização de tarefas dos níveis de produção são executados por uma placa embarcada Arduino MEGA 2560 acoplada a uma protoshield que tem como objetivo facilitar a conexão entre os níveis de produção e o gabinete central. Tanto o módulo embarcado quanto os equipamentos de hardware presentes nos níveis de produção são alimentados por uma fonte de alimentação elétrica, presente no gabinete de controle, com tensão de 12V e corrente máxima de 10A.

Com o uso das caixas de conexão presentes nos níveis de produção, foi possível a instalação de sensoriamento para a coleta de dados ambientais, quando necessários, inerentes aos níveis de produção como: Temperatura (Sensor BME280), Umidade do Ar (Sensor BME280), Níveis de CO₂ (Sensor MQ-135) e Dados Visuais (Câmera OV7670).

Por se tratar de um modelo de cultivo *indoor*, foi necessária a instalação de um sistema de atuação autônoma responsável pelos processos de iluminação artificial, para este fim optou-se pelo uso de LEDs endereçáveis em fita (WS2811 RGB), o que propiciou uma flexibilidade na quantidade do espectro de saída emitido (vermelho, verde ou azul).

No primeiro momento foi posta em cada nível de produção uma estrutura de iluminação superior em formato quadrangular, composta por 48 LEDs RGB (totalizando 144 LEDs individuais). Posteriormente adicionou-se uma estrutura complementar, instalada lateralmente, composta por 24 LEDs RGB (72 LEDs), conectados em série com a iluminação superior.

Entre os métodos de irrigação baseados no uso de solução nutritiva (sem solo) existentes, optou-se pela implantação do método de hidroponia por flutuação nos níveis de produção, através da construção de bandejas dotadas de uma bomba submersa para mistura e oxigenação da solução nutritiva aquosa, sendo a raiz da cultura transplantada submersa na mesma. Esta escolha deveu-se ao fato de a hidroponia apresentar um baixo custo de implantação e manutenção, quando comparada a outras variantes do modelo hidropônico, como a Aquaponia e Aeroponia, (MAUCIERI et al, 2018).

Com os parâmetros para o desenvolvimento prático de uma Fazenda Vertical supra definidos, seguiu-se com a construção prática, obtendo-se um modelo de plantio vertical composto por 7 colunas independentes, com 3 níveis de produção cada, totalizando 21 níveis de produção (Figura 1B).

Ensaio Experimentais

Com o modelo construído, a próxima etapa envolveu a execução dos ensaios experimentais práticos, envolvendo o direcionamento de determinados espectros de iluminação e intensidade sobre mudas de alface crespa devido ao seu porte, tempo de cultivo e importância no mercado consumidor.

Os experimentos realizados tiveram duração de 30 dias cada, com uso de iluminação intermitente em períodos de 12 horas de iluminação/12 horas de sombra. Para a obtenção de respostas foi levado em consideração o número de folhas, massa fresca, massa seca e área foliar referente às amostras após o término do período de cultivo.

O número de folhas, contabilizado após a execução dos ensaios experimentais, foi obtido de forma não destrutiva, levando em consideração todos os brotos de forma indiscriminada, ou seja, não houve nenhum fator de descarte. O cálculo da massa fresca e

massa seca foi executado através do uso de uma balança, de forma que os resultados foram obtidos em gramas.

Para o cálculo da área foliar, optou-se pela solução proposta por PEREIRA et al. (2003), que se utiliza do produto do comprimento da nervura principal da folha e a sua largura máxima, sendo este multiplicado pelo fator de correção de 0,75. Para fator de descarte no cálculo da área foliar optou-se por contabilizar as folhas com no mínimo 4cm de comprimento da nervura principal.

Desta forma, foram realizados dois ensaios experimentais de plantio, o primeiro referente à validação da utilização dos espectros de luz, através de combinações entre os LEDs RGB para observação dos seus efeitos sobre cada cultura, o segundo ensaio é focado no estudo da utilização da combinação que apresenta melhores resultados e variações de intensidade sobre a cultura.

Para o primeiro ensaio, que envolve o estudo de diferentes espectros de luz sobre a morfologia da cultura da alface-crespa, com uso dos LEDs superiores (48 LEDs), aplicou-se os tratamentos vermelho, azul, roxo (vermelho e verde), branco (vermelho, azul e verde), com 5 repetições para cada tratamento. Após finalizado, os dados morfológicos recolhidos foram submetidos a uma análise de variância pelo teste F seguido pelo teste de Tukey a 5%.

O segundo ensaio experimental utilizou-se dos resultados do experimento anterior que obteve o melhor espectro de luz aplicado, de forma que este novo experimento teve como objetivo a aplicação de diferentes quantidades de luz (36 LEDs, 54 LEDs e 72 LEDs) contendo 7 repetições cada, totalizando 21 unidades experimentais, de forma que as variáveis de crescimento resultantes após o período de experimentação foram submetidas a um teste de regressão, buscando-se obter a equação de regressão bem como o valor de correlação linear.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a avaliação do ambiente de produção, realizou-se a medição dos parâmetros de temperatura e umidade através do sensoriamento presente no sistema vertical durante 20 dias. Nesta avaliação, que foi executada durante o período do verão, observou-se máximas de 31°C e mínimas de 25°C, sendo que a média verificada ficou em aproximadamente 28°C. Os valores obtidos se encontram fora da curva ideal para a produção da alface, que tem como máximas de 25°C (EMBRAPA, 2020). Desta forma, durante os ensaios que se seguiram, atuou-se na temperatura ambiente através do uso de climatização, principalmente durante os períodos de sol que apresentam maiores picos de temperatura.

Além da temperatura, durante este período avaliou-se a umidade relativa do ar, que variou no intervalo de 41,45% e 57,53%, todavia o valor ideal deveria variar entre 60% a 80% (CERMENO, 1977). Esta baixa umidade é devido ao ambiente de produção ser realizado em laboratório. Por ausência dos equipamentos necessários, foi inviável a interferência humana nesta variável (umidade) para os experimentos subsequentes, o que não ocorreu com a variável temperatura. Esperava-se que nas condições nas quais foram realizados, a umidade relativa do ar não represente um fator preponderante no desenvolvimento da cultura dos experimentos que se sucederem.

Como apontado nos experimentos executados por TIBBITTS & BOTTENBERG (1976), que tiveram como objeto de estudo a aplicação de umidade controlada para o cultivo de alface crespa, observou-se que a principal vantagem obtida pela produção em um ambiente com alta umidade seria a produção de cabeças comercializáveis maiores e contendo um maior teor de água em um período de tempo ligeiramente reduzido.

No primeiro experimento, com duração de 30 dias, com o uso de climatização, durante um intervalo de 12 horas referentes ao período de sol, foi possível a obtenção de resultados próximos ao ideal para o crescimento da alface, obtendo-se uma temperatura média de 25,3°C, com máxima de 30,3°C e mínima de 22°C. Além da temperatura com base nos dados

coletados, foi constatada a variação da umidade relativa do ar com máxima e mínima de 60% e 43,8% respectivamente.

Durante o período de experimentação, houve a necessidade de substituição de parte das bombas presentes nas bandejas hidropônicas, que após determinado período submersa na solução nutritiva apresentaram problemas de calcificação do seu eixo de rotação.

Após 30 DAT (dias após o transplante), os dados referentes as amostras, submetidas aos diferentes tratamentos luminosos, foram coletados, com exceção dos dados referentes ao tratamento de luz vermelho, devido ao fato de que as amostras correspondentes pereceram após 15 DAT, desta forma não foi possível a obtenção dos dados de massa fresca e área foliar.

Com os dados devidamente coletados, o primeiro parâmetro analisado foi o número total de folhas. Após a execução do Teste de Tukey 5%, o tratamento de luz branca e o tratamento de luz roxa (vermelho + azul) apresentaram os melhores resultados, diferindo dos demais (Figura 2A).

Executando-se o teste de Tukey a 5%, com os dados morfológicos de massa seca, concluiu-se que os tratamentos branco e roxo apresentaram os melhores resultados. Destarte, fica implícito que o complemento de verde presente no tratamento branco não trouxe ganhos significativos em comparação ao Roxo (Figura 2B).

Após submetidos os dados de área foliar (cm^2) à análise de Tukey 5%, observou-se que o tratamento branco apresentou o melhor resultado em comparação aos demais espectros aplicados, considerando que as amostras experimentais com espectro de iluminação vermelho durante o experimento murcharam, não apresentando resultados (Figura 2C).

A análise de massa fresca foi executada entre os tratamentos azul, roxo e branco, considerando o perecimento das amostras referentes ao espectro vermelho após 15 DAT. Nestas condições, após executado o teste de Tukey em 5%, verificou-se que o tratamento branco apresentou o melhor resultado (Figura 2D).

O resultado obtido referente ao número de folhas é condizente com o estudo realizado por BIAN et al. (2018), no qual concluiu-se que o suplemento do espectro verde ao roxo, que neste caso representa o espectro branco, trouxe ganhos na taxa fotossintética, contudo não apresentando diferença significativa no número de brotos, se comparado a ausência do mesmo.

Como pode ser observado, a aplicação do espectro verde presente no tratamento branco (RGB) trouxe benefícios para a massa fresca da alface. Estes resultados são condizentes com o estudo realizado por KONG et al. (2015), que envolveu a aplicação de diferentes espectros de luz e constatou-se que o espectro verde (525 - 575nm) trouxe ganhos significativos para a massa fresca da alface.

Os resultados provenientes do tratamento branco na área foliar, por sua vez, estão relacionados ao fato da proporção de verde presente no tratamento branco (RGB) representar apenas 33% do total de iluminação aplicado. Sustentando esta hipótese, no estudo executado por KIM et al. (2004), constatou-se que o complemento verde em proporção de 24% apresentou os melhores resultados referentes à AF (Área foliar), de forma que o excesso apresentou resultados negativos.

Como observado, a aplicação de forma isolada dos tratamentos dos espectros de luz vermelho e azul resultaram nas menores massas secas, não se diferenciando entre si estatisticamente. Estudos como o executado por COPE et al. (2014), reconheceram que a aplicação do espectro azul em excesso pode inibir a massa seca, contudo o perecimento das amostras após 15 DAT iluminadas com espectro vermelho pode explicar o fato de o espectro azul apresentar um resultado similar ao tratamento vermelho.

Como demonstrado nos experimentos executados por KANG et al. (2016), que teve como objeto de estudo a aplicação de diferentes espectros de luz sobre amostras de alface crespa, observou-se que a aplicação exclusiva do espectro vermelho sem a adição do espectro

azul apresentou as taxas fotossintéticas mais baixas, ou seja, resultando em um processo fotossintético disfuncional.

Desta forma, deduz-se que o perecimento das amostras submetidas ao tratamento vermelho (após 15 DAT) pode ser explicado por uma baixa taxa fotossintética das folhas de alface sobre o espectro aplicado, somado à quantidade de luz insuficiente, considerando que as amostras submetidas a outros tratamentos de luz, como o branco, se apresentaram estioladas ao fim do experimento.

Em retrospecto, entre os espectros aplicados sobre as amostras de alface crespa, apenas o branco mostrou diferença significativa dos demais em todas as situações observadas, isto é, apresentando os melhores resultados, desta forma a aplicação do mesmo foi o objeto de estudo do experimento que o sucedeu envolvendo a aplicação de diferentes proporções de luz (número de LEDs).

Desta forma, considerando que no experimento anterior a quantidade de luz se mostrou insuficiente, neste experimento foi feito o uso da totalidade de LEDs (72 LEDs) disponíveis na estrutura de plantio vertical buscando-se melhores resultados. Sendo esta hipótese sustentada pelos resultados observados no estudo realizado por KIM et. al. (2014), em que se constatou que a otimização do resultado final se encontra diretamente relacionada a intensidade (número de LEDs) e uniformidade da luz (distância entre os LEDs e a cultura) sendo esta última melhor apresentada com a utilização de estruturas laterais de iluminação.

Diferentemente do experimento anterior, não houve a necessidade da utilização de climatização no ambiente, devido ao período de temperaturas mais amenas (entre junho e julho), nessas condições naturais durante o experimento foram registradas temperatura máxima de 27,65°C e mínima de 12,83°C, e umidade do ar com valor mínimo de 40,42% e máxima de 71,83%.

Com os resultados coletados, o número de folhas (indiscriminado e com comprimento mínimo de 4cm) foi o primeiro parâmetro analisado. Desta forma observou-se que de forma indiscriminada a aplicação de um número maior de LEDs não resultou em um crescimento significativo do número de folhas obtidos (Figura 3A), em contrapartida, observa-se que o número de LEDs impactou de forma significativa no crescimento das folhas ao longo do experimento como observado nos resultados referentes ao total de folhas que atendem o comprimento mínimo de 4cm (Figura 3A).

A aplicação de diferentes quantidades de luz (número de LEDs), apresentaram influência na massa fresca (Figura 3B) e seca (Figura 3C) obtidas, observando-se que a adição de LEDs trouxe impactos positivos no resultado final obtido em ambos os casos.

A análise da Area Foliar (Figura 3D), assim como os resultados referentes as massas, apresenta uma trajetória crescente com o acréscimo de número de LEDs aplicado. Este resultado, é consistente se levado em consideração os resultados obtidos, na análise realizada com os dados de número de folhas obtidos, quando considerado o fator de descarte de comprimento mínimo de 4cm.

Como observados nos resultados, o aumento da intensidade de luz aplicada, através do acréscimo do número de LEDs disponíveis durante o período de iluminação, apresentou influência direta nos resultados morfológicos obtidos, com exceção do número de folhas (comprimento indiscriminado).

Como apontado por FUKUDA et al. (2008), a intensidade de luz, por sua vez é um dos principais fatores a ser levado em consideração para o crescimento das plantas, observando-se o aumento do processo fotossintético como resultado da utilização de iluminação em alta intensidade e como consequência influenciando positivamente na biomassa resultante. Em contrapartida a produção em ambientes de baixa intensidade luminosa, acarreta no processo de foto inibição prejudicando a fotomorfogênese.

CONCLUSÃO

Com a utilização de iluminação LED nos experimentos realizados, concluiu-se que o tratamento branco, isto é, a combinação entre o vermelho, azul e verde, trouxe os melhores resultados em todos os parâmetros morfológicos analisados das amostras de alface. Em contrapartida a aplicação do espectro vermelho resultou nos piores resultados, considerando o perecimento das amostras durante o experimento; restando implícito que a quantidade de luz (em ambos os casos) foi insuficiente, devido, principalmente, ao fato de que as fitas em Led não sejam o material ideal para este fim.

Com a aplicação de diferentes intensidades de LED branco, foi possível estabelecer uma relação mais significativa entre o número de LEDs aplicados e os parâmetros morfológicos analisados, neste caso, as massas obtidas (fresca e seca) e o crescimento foliar.

Considerando todos os pontos observados, desde a construção do modelo protótipo até a execução dos ensaios experimentais, conclui-se que a aplicação de modelos de plantio vertical é bastante promissora, entretanto, como pode ser observado no protótipo construído, existem fatores que dificultam a sua implementação, em especial no que tange à aplicação de fitas de LEDs comuns, como fonte de iluminação artificial, pois cada cultura apresenta diferentes necessidades, seja em relação à intensidade de iluminação ou ao tipo de espectro aplicado.

AGRADECIMENTOS

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

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses. Os patrocinadores fundadores não tiveram nenhum papel no desenho do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito e na decisão de publicar os resultados.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram igualmente para a concepção e redação do manuscrito. Todos os autores revisaram criticamente o manuscrito e aprovaram a versão final.

REFERENCIAS

DESPOMMIER, D. **The vertical farm: Feeding the world in the 21st century**. New York: Thomas Dunne Books/St. Martin's Press, 2010.

BOYLE, G. **Renewable energy: power for a sustainable future**. 2nd. ed. UK: Oxford University Press, 2004.

RAVEN, P. H. et al. **Biologia Vegetal**. 7a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

WENT, F. W. **The experimental control of plant growth**, v. 17, New York: Ronald Press Co, 1957.

CERMEÑO, Z.S. **Cultivo de plantas hortícolas em estufas**. Lisboa: Litexa, 1977. 355p.

KOERT, W. De toekomst volgens PlantLab. 2018. Online. Available from: <https://www.willemkoert.nl/plaatjes/pdf/plantlab.pdf> Accessed: Dec. 1 2021.

EMBRAPA. **Internet das Coisas pode ajudar a melhorar produtividade agrícola**. 2018. Online. Available from: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31786119/internet-das-coisas-pode-ajudar-a-melhorar-produtividade-agricola>.

Accessed: Nov. 29, 2021.

BEACHAM, A. M., et al. Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 94: 277-283 p. 2019. Available

from: <<http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2019.1574214>>. Accessed: Nov. 27, 2021. doi: 10.1080/14620316.2019.1574214.

BIAN, Z., et al. Study of the beneficial effects of green light on lettuce grown under short-term continuous red and blue light-emitting diodes. **Physiologia Plantarum**, 164: 226-240 p. 2018. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1111/ppl.12713>>. Accessed: Nov. 23, 2021. doi: 10.1111/ppl.12713.

COPE, K. R., et al. Photobiological Interactions of Blue Light and Photosynthetic Photon Flux: Effects of Monochromatic and Broad-Spectrum Light Sources. **Photochemistry and Photobiology**, 90: 574-584 p. 2014. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1111/php.12233>>. Accessed: Nov. 20, 2021. doi: 10.1111/php.12233.

KEYSER, E., et al. LED light quality intensifies leaf pigmentation in ornamental pot plants. **Scientia Horticulturae**, 253: 270-275 p. 2019. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.006>>. Accessed: Nov. 8, 2021. doi: 10.1016/j.scienta.2019.04.006.

DESPOMMIER, D. The Rise of Vertical Farms. **Scientific American**, 301: 80-87 p. 2009. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican1109-80>>. Accessed: Nov. 12, 2021. doi: 10.1038/scientificamerican1109-80.

DESPOMMIER, D. The vertical farm: controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations. **Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit**, 6: 233-236 p. 2011. Available from: <<https://doi.org/10.1007/s00003-010-0654-3>>. Accessed: Nov. 6, 2021. doi: 10.1007/s00003-010-0654-3.

DESPOMMIER, D. Vertical Farms in Horticulture. In: **Encyclopedia of Food and Agricultural Ethics**, Springer Netherlands: 1791-1799 p. 2014. Available from:

<https://doi.org/10.1007/978-94-007-0929-4_88>. Accessed: Nov. 4, 2021. doi: 10.1007/978-94-007-0929-4_88.

KALANTARI, F., et al. Opportunities and Challenges in Sustainability of Vertical Farming: A Review. **Journal of Landscape Ecology**, 11: 35-60 p. 2018. Available from: <<https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0016>>. Accessed: Oct. 29, 2021. doi: 10.1515/jlecol-2017-0016.

KIM, H.-H. Stomatal Conductance of Lettuce Grown Under or Exposed to Different Light Qualities. **Annals of Botany**, 94: 691-697 p. 2004. Available from: <<https://doi.org/10.1093/aob/mch192>>. Accessed: Oct. 31, 2021. doi: 10.1093/aob/mch192.

KONG, S.-W., et al. The Contribution of Different Spectral Sections to Increase Fresh Weight of Boston Lettuce. **HortScience**, 50: 1006-1010 p. 2015. Available from: <<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.7.1006>>. Accessed: Dec. 8, 2021. doi: 10.21273/HORTSCI.50.7.1006.

MAUCIERI, C., et al. Hydroponic systems and water management in aquaponics: a review. **Italian Journal of Agronomy**, 11 2017. Available from: <<https://doi.org/10.4081/ija.2017.1012>>. Accessed: Oct. 31, 2021. doi: 10.4081/ija.2017.1012.

MCCREE, K. J. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. **Agricultural Meteorology**, 9: 191-216 p. 1971. Available from: <[https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7)>. Accessed: Dec. 3, 2021. doi: 10.1016/0002-1571(71)90022-7.

MICKENS, M. A., et al. Growth of red pak choi under red and blue, supplemented white, and artificial sunlight provided by LEDs. **Scientia Horticulturae**, 245: 200-209 p. 2019. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.023>>. Accessed: Nov. 12, 2021. doi: 10.1016/j.scienta.2018.10.023.

PEREIRA, O. C. N., et al. Produção de alface em função de água e de nitrogênio. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 25 2003. Available from: <<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v25i2.1987>>. Accessed: Nov. 14, 2021. doi: 10.4025/actasciagron.v25i2.1987.

SNOWDEN, M. C., et al. Sensitivity of Seven Diverse Species to Blue and Green Light: Interactions with Photon Flux. **PLOS ONE**, 11: e0163121 p. 2016. Available from: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163121>>. Accessed: Nov. 19, 2021. doi: 10.1371/journal.pone.0163121.

SALA, F. C.; Costa, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, 30(2) 2016, 187–194. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>>. Accessed: Nov. 21, 2021. doi: 10.1590/S0102-05362012000200002.

RANGELOV V.; STAYKOVA D., VERTICAL FARMS. **World Science**, 7(59) 2020. Available from: <https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092020/7181>. Accessed: Nov. 21, 2021. doi: 10.31435/rsglobal_ws/30092020/7181.

TIBBITS, T.; BOTTENBERG G. B. Growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under controlled humidity levels. **Journal American Society of Horticultural Science**. 101. 70-73. 1976. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/233860952_Growth_of_lettuce_Lactuca_sativa_under_controlled_humidity_levels>. Accessed: Nov. 23, 2021.

KIM, M., et al. (2014). Evaluation of Light Intensity and Uniformity of LEDs for Protected Crop Production. **Agribusiness and Information Management**, Vol. 6, Issue 1, p. 37–44) 2014. Available from: <<https://doi.org/10.14771/aim.6.1.5>>. Accessed: Jan, 10, 2022.

FUKUDA, N., et al. (2008). Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition. **Scientia Horticulturae**, Vol. 115, Issue 2, p. 176–182) 2008. Available from: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.08.006>>. Accessed: Feb, 05, 2022.

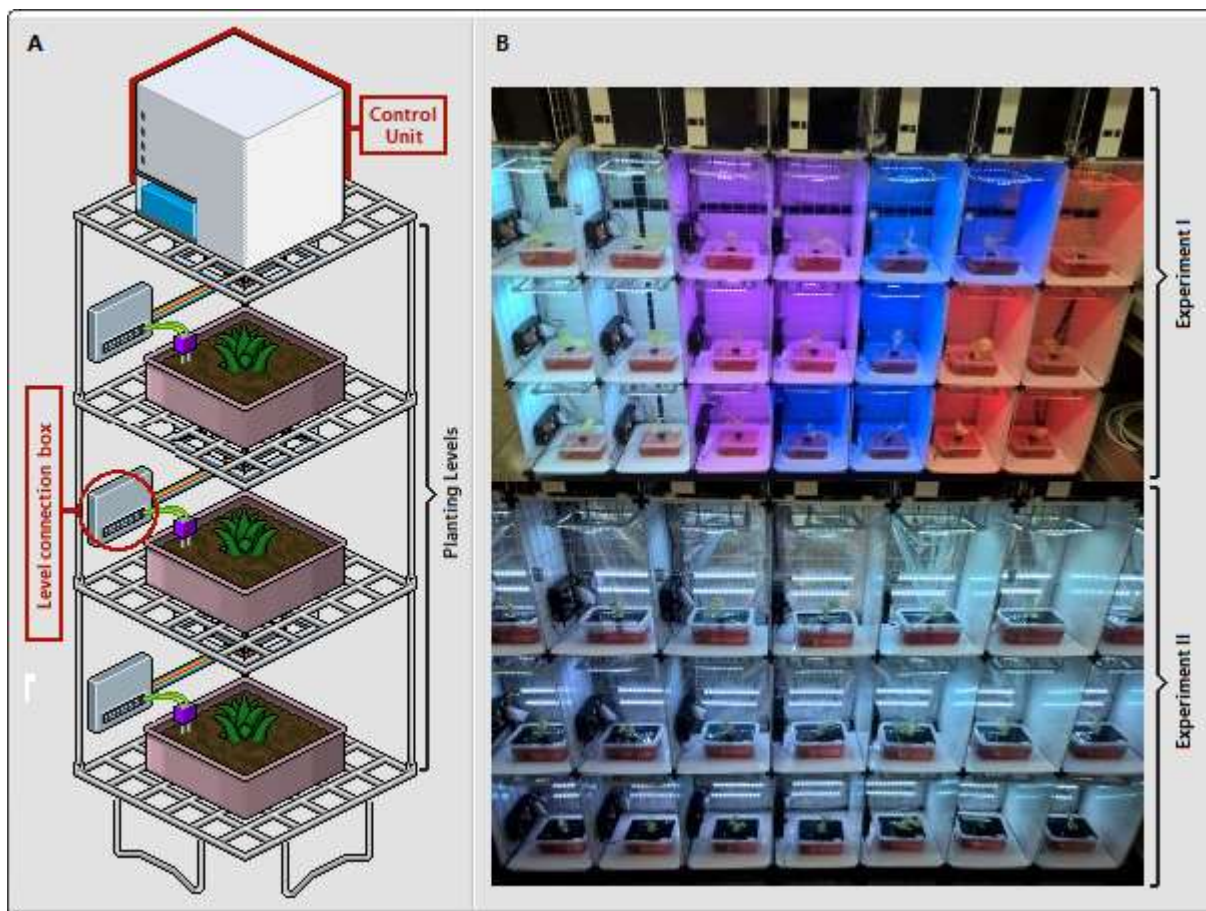


Figura 1 – (A) Projeto Protótipo referente as torres de produção; (B) Modelo de Plantio Vertical finalizado: Representação dos diferentes experimentos executados.

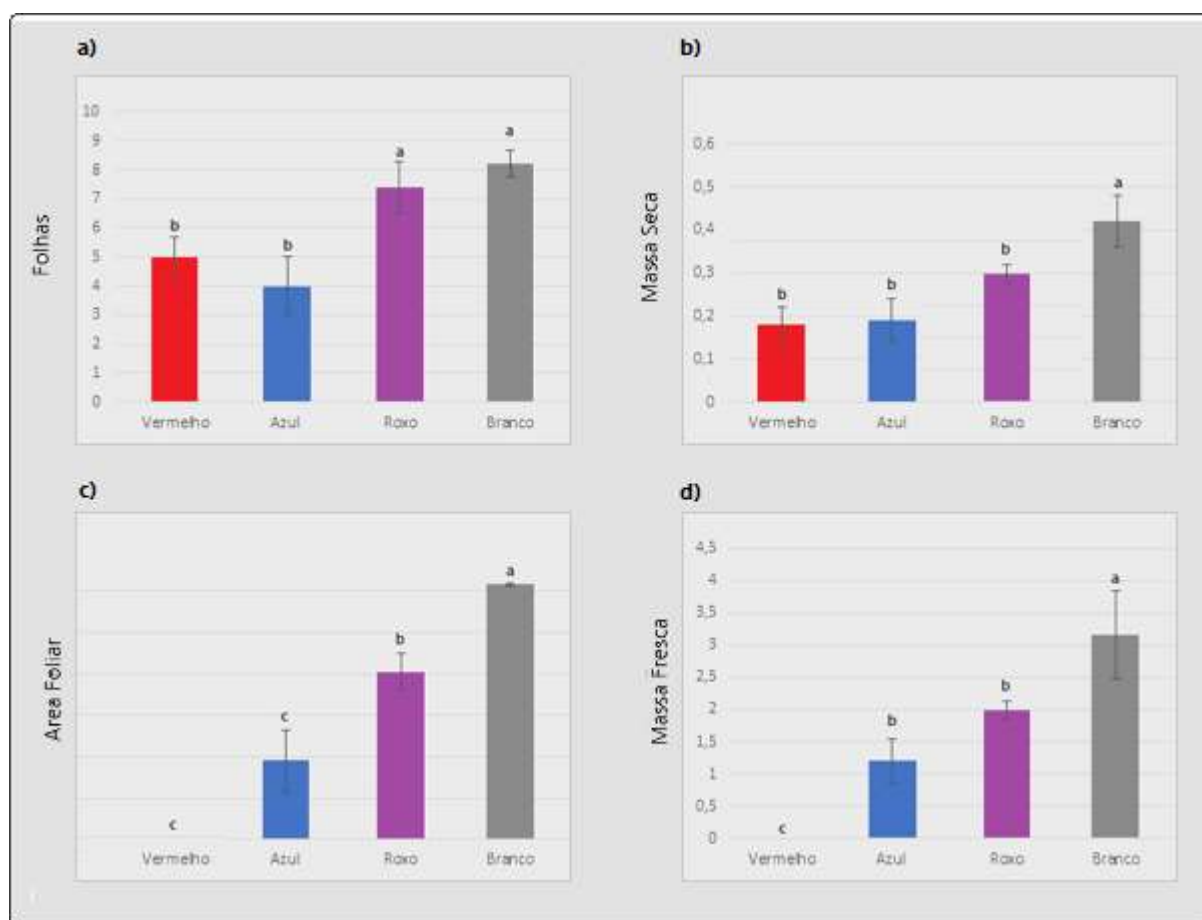


Figura 2 - Resultados do teste de Tukey referente ao total de folhas sobre diferentes tratamentos de luz. a) Número de folhas: Tratamentos Branco e Roxo apresentaram os melhores resultados se diferenciando dos demais estatisticamente; b) Massa Seca: Tratamento Branco apresentou o melhor resultado, se diferenciando dos demais estatisticamente; c) Área Foliar: Tratamentos Branco e Roxo apresentaram os melhores resultados se diferenciando dos demais estatisticamente; d) Massa Fresca: Tratamento Branco apresentou o melhor resultado, se diferenciando dos demais estatisticamente;

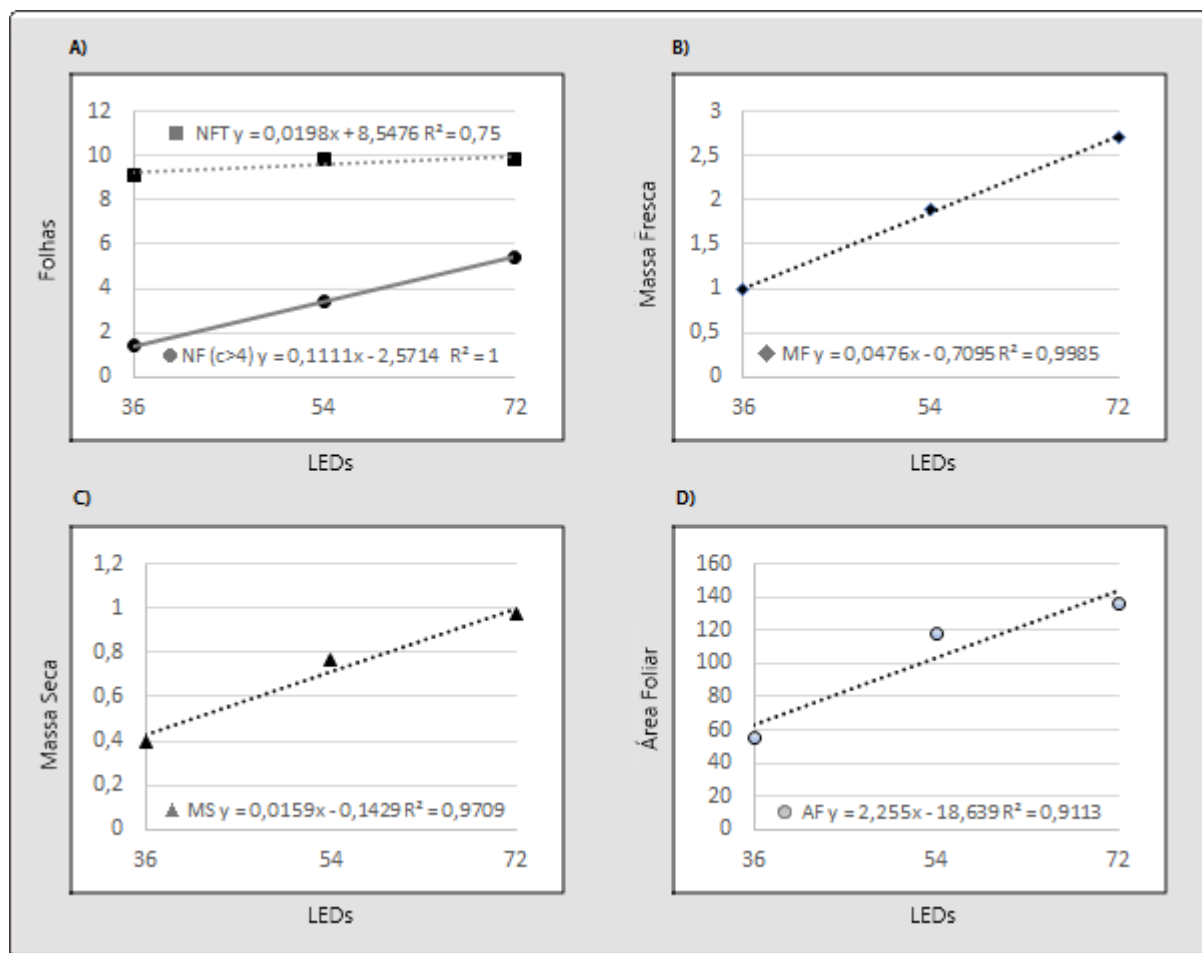


Figura 3 – Resultados referentes a regressão linear das médias referente aos parâmetros morfológicos de culturas de alface submetidas a diferentes proporções de LEDs: A) Número de Folhas: Número de folhas total e número de folhas com comprimento mínimo de 4cm; B) Massa Fresca (g), C) Massa Seca (g) e D) Área Foliar (cm²).

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.