

# **A influência do uso de luz LED no crescimento e qualidade de plantas de *Hydrangea macrophylla***

**Ana Catarina Rodrigues Venâncio**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Agronómica com especialização em  
Hortofruticultura e Viticultura**

Orientadores: Doutora Mariana da Silva Gomes Mota

Doutor Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa

## **Júri:**

Presidente: Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes, Professor auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor David Jorge Ferreira, R&D Technician da Sjaak van Schie;

Doutora Mariana da Silva Gomes Mota, Técnica Superior do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, orientadora.

2024



## Agradecimentos

Esta etapa da minha vida e a conclusão desta tese só foram possíveis graças ao apoio, carinho e dedicação de várias pessoas, a quem expresso a minha mais sincera gratidão.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Mariana Mota e Professor Doutor Joaquim Miguel Costa, agradeço pela orientação, disponibilidade e ajuda prestadas ao longo deste percurso. Agradeço a confiança em aceitar este desafio e o contributo crucial nas decisões e etapas deste trabalho. Um agradecimento especial à Professora Mariana, não só pelo conhecimento transmitido, mas também pela amizade e motivação constante, sempre com uma palavra de apoio nos momentos mais difíceis.

Ao Doutor David Ferreira, da empresa Jacobus van Schie, agradeço pela companhia, paciência e ensinamentos ao longo dos meses de trabalho. A sua dedicação e boa disposição foram essenciais para tornar esta experiência ainda mais gratificante.

À empresa Jacobus van Schie e a todos os colaboradores que me acompanharam, deixo um sincero agradecimento pelo apoio técnico e pela partilha de conhecimentos que tanto contribuíram para a realização deste estudo.

À minha família, o meu profundo agradecimento pelo apoio incondicional. À minha mãe, por ter tido sempre uma palavra de apoio e motivação para me dar. Ao meu pai, por me mostrar diariamente que o esforço e dedicação têm sempre um resultado positivo. Ao meu irmão Diogo, por ser um exemplo a seguir e um grande apoio. Obrigada por me motivares a dar o meu melhor, mesmo nos momentos mais desafiantes. À minha avó Lila, pelo carinho constante. Aos meus avós que já partiram, mas que permanecem no meu coração, e que sei que estariam orgulhosos de ver a minha evolução e partilhar este momento comigo. Agradeço também aos meus tios e à minha prima, pelo amor e apoio contínuo. Ao meu Guga, que já partiu mas está sempre comigo, e à minha Amélie e Frederica por todos os momentos de descontração e por todo amor e carinho.

Aos meus amigos, em especial ao grupo "Já Pias" e à Mónica, a minha amiga de sempre, sou grata pela vossa amizade e por estarem ao meu lado em todas as fases desta jornada.

Por fim, ao Alexandre, meu namorado, um agradecimento especial. O teu carinho, paciência e apoio incondicional ao longo deste percurso foram uma fonte de força. A tua presença constante e incentivo ajudaram-me a enfrentar os desafios com confiança e serenidade. Obrigada por acreditares em mim e por celebrares comigo cada vitória.



## Resumo

A *Hydrangea macrophylla* é uma espécie ornamental de elevada relevância económica, cuja produção em vaso depende de reguladores de crescimento para manter o seu aspeto compacto, assegurando a sua qualidade comercial. Contudo, a necessidade de diminuição de custos e minimização do impacto ambiental, impulsiona a procura por alternativas mais sustentáveis. Este estudo avaliou a viabilidade de diferentes tipos de iluminação LED como alternativa aos reguladores de crescimento de síntese química, assim como avaliar o seu impacto no crescimento, desenvolvimento e qualidade das plantas.

O ensaio decorreu durante sete semanas em estufa comercial, com plantas de *H. macrophylla* cv 'Hi White Sun' em fase de pré-floração, e quatro modalidades de iluminação: LED no espectro do vermelho (15 minutos de iluminação ao final do dia); LED com combinação de luz no espectro do azul e vermelho e LED no espectro do branco (18h de luz e 6h de escuridão), além do grupo controlo com luz natural. Avaliaram-se parâmetros como a altura das plantas, teor em clorofila, espessura, fluorescência, condutância estomática, saturação, tonalidade e luminosidade das folhas, além da área foliar unitária e a relação entre o peso seco e fresco. Após o desenvolvimento floral, avaliou-se o efeito dos LEDs na conservação e sobrevivência das plantas, submetidas a simulações de transporte (3 dias em câmara frigorífica a 18°C) e de exposição em ponto de venda.

Os resultados demonstraram que a luz LED no espectro do vermelho foi a mais eficaz no controlo da altura, promovendo plantas mais compactas e com maior teor de clorofila, melhorando a sua qualidade estética. Economicamente, o custo da luz vermelha foi de 0,014 €/planta/mês, com redução de cerca 8,3% em comparação com o uso de reguladores de crescimento químicos. Embora o tipo de iluminação não ter tido impacto na avaliação de conservação pós-colheita, a posição das plantas nos carrinhos influenciou significativamente a sua longevidade.

**Palavras-chave:** planta envasada, compactidade, floração, iluminação artificial, qualidade comercial



## Abstract

*Hydrangea macrophylla* is an ornamental species of significant economic relevance, whose pot production in greenhouses traditionally relies on growth regulators to ensure the commercial quality of the plants. However, the need to reduce costs and minimise environmental impact has driven the search for more sustainable alternatives. This study evaluated the feasibility of using different types of LED lighting as a substitute for growth regulators, as well as their impact on the plants' growth, development, and quality.

The trial was conducted over 7 weeks in a commercial greenhouse, using *H. macrophylla* cv 'Hi White Sun' plants during the pre-flowering stage, under four lighting settings: red wavelength LED (with 15 minutes of illumination at the end of the day); LED combining wavelength blue and red wavelength light combination; and white wavelength LED (with a cycle of 18 hours of light and 6 hours of darkness), along with a control group only exposed to natural light. Parameters such as plant height, chlorophyll content, leaf thickness, fluorescence, stomatal conductance, saturation, hue, leaf brightness, individual leaf area and dry to fresh weight ratio were evaluated. After the floral development, the effect of the LEDs on plant conservation and survival was assessed, following transport simulations (3 days in cold storage at 18°C) and sales placement exposure.

The results showed that red wavelength LED light was the most effective in controlling plant height, promoting more compact plants with higher chlorophyll content and improving their aesthetic quality. Economically, the cost of red light was €0,014/plant/month, about 8,3% when compared with the usage of plant growth regulators chemical based. Although the type of lighting had no impact on the post-harvest preservation, the position of the plants on the shelves significantly influenced their longevity.

**Keywords:** potted plant, compactness, flowering, artificial lighting, commercial quality



# Índice

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>I</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>III</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>V</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Revisão bibliográfica .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. A <i>Hydrangea macrophylla</i> .....</b>	<b>3</b>
2.1.1. Taxonomia e origem .....	3
2.1.2. Panorama geral da floricultura e representatividade da <i>Hydrangea</i> em Portugal, na Europa e no Mundo .....	4
2.1.3. Morfologia da planta .....	5
2.1.4. Exigências edafoclimáticas da cultura .....	6
2.1.5. Ciclo de produção comercial .....	8
2.1.6. Danos, conservação e perda de valor comercial em plantas ornamentais.....	10
<b>2.2. Importância da luz no crescimento das plantas .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. O uso da iluminação artificial em horticultura .....</b>	<b>11</b>
2.3.1. Efeitos de aplicação de luz artificial ao final do dia .....	14
<b>2.4. Reguladores de crescimento e as suas alternativas .....</b>	<b>15</b>
<b>3. Materiais e métodos .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Local e condições de crescimento .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2. Material vegetal .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3. Condições de produção: rega, nutrição e controlo de pragas e doenças .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4. Delineamento experimental .....</b>	<b>20</b>
3.4.1. Tratamentos com luz artificial .....	22
3.4.1.1. Caracterização espectral .....	22
3.4.1.2. Consumo de energia associado à iluminação.....	23
3.4.2. Avaliação da fase de conservação .....	23
<b>3.5. Procedimentos experimentais .....</b>	<b>24</b>
3.5.1. Medições biométricas e teor de clorofila .....	24
3.5.2. Monitorização das condições ambientais e de rega .....	25
3.5.3. Análises pós-colheita .....	25

3.5.4.	Avaliação da conservação: simulação de transporte e tempo de prateleira .....	28
<b>3.6.</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>29</b>
<b>4.</b>	<b>Resultados e discussão.....</b>	<b>30</b>
4.1.	Condições de cultivo .....	30
4.2.	Otimização do <i>setup</i> experimental .....	32
4.3.	Caracterização dos tratamentos de iluminação utilizados .....	38
4.4.	Medições biométricas e teor de clorofila .....	42
4.4.1.	Altura das plantas .....	42
4.4.2.	Teor em clorofila das folhas.....	46
4.4.3.	Espessura das folhas .....	50
4.5.	Análises pós-colheita .....	54
4.5.1	Porometria e fluorescência da clorofila .....	54
4.5.2	Colorímetro .....	56
4.5.3	Área foliar unitária.....	60
4.5.4	Peso fresco e peso seco .....	61
4.5.5	Determinação do teor de fenóis solúveis .....	63
4.6.	Avaliação de conservação.....	64
4.7.	Mortalidade atribuída à <i>Phytophthora</i> .....	68
4.8.	Estudo económico .....	70
<b>5.</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>73</b>
<b>6.</b>	<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>75</b>

# Índice de figuras

Figura 1: Hydrangea macrophylla mophead.....	3
Figura 2: Hydrangea macrophylla lacecap. ....	3
Figura 3: Planta de Hydrangea macrophylla 'Hi White Sun'. Fonte: Hibreeding, 2024. ....	5
Figura 4: Caules da Hydrangea macrophylla 'Hi White Sun'. ....	6
Figura 5: Inflorescências da Hydrangea macrophylla 'Hi White Sun'. ....	6
Figura 6: Vasos com as plantas-mãe.....	9
Figura 7: Estacas enraizadas em tabuleiros de enraizamento de 40 alvéolos.....	9
Figura 8: Armazenamento em câmara refrigerada de planta no final da fase vegetativa, para promoção da dormência.....	9
Figura 9: Crescimento no início da indução floral.....	9
Figura 10: Início da diferenciação das sépalas. ....	9
Figura 11: Local do ensaio.....	18
Figura 12: Plantas de Hydrangea macrophylla cv 'Hi White Sun' no processo de envasamento, após o processo de ramificação.....	19
Figura 13: Aspeto das plantas no dia da transplantação.....	19
Figura 14: Diagrama do planeamento da montagem do setup. ....	21
Figura 15: Setup do ensaio experimental com as plantas no solo. ....	21
Figura 16: Setup do ensaio experimental com as plantas elevadas a 1,70m. ....	21
Figura 17: Medição da espessura das folhas com a craveira digital. ....	24
Figura 18: Instalação do datalogger. ....	25
Figura 19: Medição com o porómetro da fluorescência e condutância estomática das folhas.....	27
Figura 20: Análise foliar unitária. ....	27
Figura 21: Corte da parte aérea da planta.....	27
Figura 22: Pesagem da parte aérea das plantas.....	27
Figura 24: Secagem das plantas na incubadora. ....	27
Figura 23: Secagem das plantas na estufa de polietileno. ....	27
Figura 26: Carrinhos de plantas no armazém, a simular a vida numa superfície de venda.....	28
Figura 25: Carrinhos de plantas na câmara frigorífica, a simular o processo de transporte. ....	28
Figura 27: Medição da humidade do substrato. ....	29
Figura 28: Variação da temperatura do ar ao longo do ensaio, recolhido pelo data logger.....	31

Figura 29: Variação da humidade relativa do ar ao longo do ensaio, recolhido pelo data logger. ....	31
Figura 30: Pontos de medição no Local 1 em planta . ....	32
Figura 31: Densidade de fluxo de fotões da luz natural a diferentes distâncias da parede (50cm, 1m, 2m, 3m, 4m, 5m e 6m), no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, no Local 1.....	33
Figura 32: Densidade de fluxo de fotões da luz natural a 4m da parede, a diferentes distâncias ao longo da estufa (1m, 2m, 3m, 4m e 5m), no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, no Local 1.....	33
Figura 33: Variação da intensidade luminosa entre um ponto referência (3m da parede da estufa) e um ponto exposto diretamente ao sol, no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, no Local 1.....	34
Figura 34: Pontos de medição no Local 2 em corte vertical. ....	34
Figura 35: Densidade de fluxo de fotões a diferentes distâncias da fonte de luz vermelha (1m,1,5m, 2m, 2,70m e no solo a 3,20m) e a diferentes distâncias horizontais do ponto de incidência no solo (1m, 2m e 3m) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, no Local 2. Sendo V a distância vertical à luz e H a distância horizontal ao ponto de incidência no solo. ....	35
Figura 36: Comparação entre os PPFd dos tratamentos REF, medido ao nível do solo, e o B, à altura 1,70m (REF= sem iluminação artificial; B= Fitas de LED no espectro do branco) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, para definição da altura do patamar. ....	36
Figura 37: Comparação entre os PPFd dos tratamentos REF e o V, medidos à altura 1,70m (REF= sem iluminação artificial; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, para definição da altura do patamar. ....	37
Figura 38: Comparação entre os PPFd dos tratamentos REF e o M, medidos ao nível do solo (REF= sem iluminação artificial; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, para definição da altura do patamar. ....	37
Figura 39: Comparação entre os PPFd dos tratamentos V, medido a 1,70m de altura, e o M, ao nível do solo (V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, para definição da altura do patamar. ....	37
Figura 40: Densidade de fluxo de fotões fotossintéticos dos 4 tipos de iluminação (B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm. ....	40
Figura 41: Gráficos sobrepostos da densidade de fluxo de fotões fotossintéticos dos 4 tipos de iluminação ensaiados (B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm. ....	41
Figura 42: Evolução das médias de alturas de cada tratamento, ao longo das semanas. Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial. ....	45

Figura 43: Representação esquemática da disposição dos tratamentos nos carrinhos durante o teste de conservação. ....	65
Figura 44: Sobrevivência das plantas ao longo do tempo, por tratamento e andar. ....	66
Figura 45: Sobrevivência das plantas ao longo do tempo por andar, dividido em tratamentos. ....	67
Figura 46: Clorose das folhas como um dos primeiros sinais de infecção por Phytophthora. ....	69
Figura 47: Murchidão das folhas e necrose basal dos caules, com a infecção a progredir desde o substrato para a parte superior da planta. ....	69
Figura 48: Aspeto geral da planta em estado avançado, causado por Phytophthora. ....	69

## Índice de quadros

Quadro 1: Características e consumo dos diferentes tipos de iluminação.....	23
Quadro 2: Valores médios da temperatura e de HR do ar médias, diurna e noturna (°C e %, respetivamente), plataforma superior e ao nível do solo.....	30
Quadro 3: Altura dos patamares com as plantas e respetivas intensidades luminosas para os diferentes tratamentos e tipos de luz. ....	36
Quadro 4: Valores obtidos para PPF, PPF, YPE, PPE e R/FR com o espetroradiómetro (desde os 340 aos 820 nm) para os diferentes tratamentos. ....	39
Quadro 5: Acréscimos nas alturas das plantas, ao longo das semanas, para os diferentes tratamentos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . ....	42
Quadro 6: Altura média das plantas, na semana 7, por tratamentos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . ....	45
Quadro 7: Teor de clorofila (unidades Hansatech) das folhas das plantas, ao longo das semanas, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . ....	46
Quadro 8: Teor de clorofila média das plantas, na semana 7, por tratamentos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . ....	49
Quadro 9: Espessura das folhas das plantas, ao longo das semanas, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . ....	50

Quadro 10: Espessura das folhas média das plantas, na semana 7, por tratamentos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . .....	53
Quadro 11: Fluorescência das folhas das plantas, medida através do porómetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . .....	54
Quadro 12: Condutância estomática das folhas das plantas, medida através do porómetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ .....	55
Quadro 13: Saturação da cor das folhas, medida através do colorímetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . .....	57
Quadro 14: Tonalidade da cor das folhas, medida através do colorímetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . .....	58
Quadro 15: Luminosidade da cor das folhas, medida através do colorímetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . .....	59
Quadro 16: Área foliar unitária, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . .....	60
Quadro 17: Razão entre o peso seco e peso fresco das plantas, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . .....	62
Quadro 18: Concentração de fenóis solúveis (mg/L), para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de $\alpha = 0,05$ . .....	63
Quadro 19: Análise económica dos diferentes tipos de iluminação artificial. ....	70
Quadro 20: Análise económica dos reguladores de crescimento da fase de pré-floração.....	71

## Lista de abreviaturas

°C	Graus Celsius
ANOVA	Análise de variância
B	Fita LED no espectro do branco
CE	Condutividade elétrica
EOD	Final do dia; <i>end of day</i>
HPS	Lâmpadas de sódio de alta pressão; <i>high-pressure sodium lamp</i>
HR	Humidade relativa do ar
LED(s)	Díodo(s) emissor(es) de luz; <i>light-emitting diode(s)</i>
M	Lâmpada LED de espectro misto (combinação de comprimento de onda azul e vermelho)
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa; <i>photosynthetically active radiation</i>
PGR(s)	Regulador(es) de crescimento; <i>plant growth regulators</i>
PPE	Eficácia dos fótons fotossintéticos; <i>photosynthetic photon efficacy</i>
PPF	Fluxo de fótons fotossintéticos; <i>photosynthetic photon flux</i>
PPFD	Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos; <i>photosynthetic photon flux density</i>
R/FR	Relação vermelho/vermelho longínquo; <i>red/far red</i>
REF	Tratamento referência, sem iluminação artificial
V	Lâmpada LED no espectro do vermelho
VPD	Défice de pressão de vapor; <i>vapor pressure deficit</i>
YPF	Fluxo de fótons associado ao rendimento; <i>yield photon flux</i>



# 1. Introdução

A produção de plantas ornamentais, como as hortênsias (*Hydrangea macrophylla*), é um setor em crescimento e com relevância económica dentro da horticultura. A União Europeia (UE) é responsável por cerca de 44% do valor global de vendas de flores de corte e plantas ornamentais em vasos, posicionando-se como um dos principais mercados a nível mundial (European Commission- Agriculture and Rural Development, 2020). Em 2023, a Royal FloraHolland, um dos maiores centros de comércio de plantas e flores do mundo, registou um volume de negócios de 5,1 mil milhões de euros, apesar dos desafios económicos impostos pela pandemia e pela crise energética (van der Ploeg, 2024). Estes dados demonstram a importância crescente do setor ornamental, reforçando a necessidade de práticas que garantam uma produção eficiente e sustentável.

Dentro deste contexto, a uniformidade e a qualidade das plantas ornamentais são fatores essenciais para garantir o sucesso comercial. A consistência no formato, tamanho e arquitetura das plantas não só otimiza o uso do espaço em estufa durante o cultivo, como também facilita o transporte e a logística, resultando em benefícios práticos significativos aos produtores (Hayashi et al., 2001). A produção uniforme de plantas ornamentais, como as hortênsias, é essencial para atender às expectativas e preferências dos consumidores, que valorizam características como o seu aspeto compacto, densidade e simetria (Cameron et al., 2006; Glasgow et al., 1998; Meijón et al., 2009). A capacidade de manipular a floração e a arquitetura das plantas permite que os produtores respondam de forma eficaz à procura sazonal, prolongando os períodos de venda (Hayashi et al., 2001).

Tradicionalmente, o controlo do crescimento e da floração das plantas ornamentais tem sido alcançado com o uso de reguladores de crescimento de plantas (PGRs), que permitem a manipulação de características morfológicas e fisiológicas. No entanto, o uso de PGRs apresenta desafios, como os potenciais efeitos adversos sobre a saúde das plantas e o impacto ambiental, além dos custos económicos associados (Davies, 2010). Estes fatores têm incentivado a procura por alternativas mais sustentáveis e economicamente vantajosas.

A luz é um dos fatores ambientais mais influentes no desenvolvimento das plantas, desempenhando um papel crucial na regulação da fotomorfogénese, um processo que controla a arquitetura da planta em resposta a estímulos luminosos (Muneer et al., 2014). A iluminação através de díodos emissores de luz (LED) surge como uma potencial alternativa aos PGRs, permitindo controlar o crescimento e arquitetura das plantas de uma forma mais sustentável e eficiente. O uso dos LEDs, possibilita modelar o espetro luminoso promovendo

o desenvolvimento desejado das plantas sem os efeitos colaterais associados aos PGRs (Kandilarov, 2018) e minimizando problemas de impacto ambiental. Além disso, os LEDs proporcionam uma maior eficiência energética, com menor consumo de eletricidade em comparação com as lâmpadas de alta pressão e outros sistemas de iluminação convencionais utilizados em estufas. Esta redução no consumo de energia não só ajuda a diminuir os custos operacionais dos produtores, mas também contribui para uma pegada ecológica mais reduzida, tornando-se uma solução cada vez mais atrativa para os produtores (Ouzounis et al., 2015)

Com base nestas premissas, foi desenvolvido um estudo na empresa Jacobus van Schie, Pegões, Portugal, com o objetivo de avaliar a eficácia de vários tipos de iluminação LED em diferentes espectros e fotoperíodos. Para execução do objetivo proposto foi utilizada *Hydrangea macrophylla* cv 'Hi White Sun' e avaliado o seu crescimento e desenvolvimento na fase de pré-floração, bem como investigar a viabilidade do uso de LED's na sua produção como alternativa ao uso de PGRs. A investigação foca-se em monitorizar parâmetros climáticos, crescimento vegetativo, ecofisiologia, qualidade das plantas e consumo energético para garantir a conformidade comercial das plantas, atendendo a parâmetros como compactidade, uniformidade e resistência. Adicionalmente, foi realizada uma avaliação de conservação em condições simuladas de transporte com posterior distribuição e venda, fases críticas na comercialização, a fim de avaliar se os tratamentos de luz tiveram impacto na fase de pós-colheita. A avaliação de aspetos como a desidratação ou a murchidão tomam grande importância pois estes afetam determinadamente a aceitação comercial das plantas pelos consumidores.

Este trabalho visa otimizar práticas de cultivo mais sustentáveis na produção de hortênsia envasada assim como oferecer uma alternativa viável ao uso de PGRs.

## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1. A *Hydrangea macrophylla*

#### 2.1.1. Taxonomia e origem

A *Hydrangea macrophylla* subespécie *macrophylla* var. *macrophylla* (Thunb.) Ser. [Saxifragaceae], é amplamente conhecida pelo nome comum de “hortênsia”, e consiste numa espécie ornamental de grande valor económico devido às suas inflorescências exuberantes. A espécie é originária do Japão. Foi descrita cientificamente em 1784 por Carl Peter Thunberg e introduzida na Europa no século XVIII, tornando-se uma das primeiras espécies vegetais a estabelecer uma ponte cultural e botânica entre as nações ocidentais e orientais (Wilson, 1923).

No Japão, coexistem 2 variedades principais da *Hydrangea macrophylla*, a variedade típica (var. *macrophylla* (Figura 1)) e a variedade *normalis*, conhecida como Gakubana. Esta última serve como fonte genética de muitas cultivares *lacecap* (Figura 2), contribuindo para a rica diversidade da espécie (Bailey, 1980).



Figura 1: *Hydrangea macrophylla* mophead.



Figura 2: *Hydrangea macrophylla* lacecap.

Fonte: The Spruce / Evgeniya Vlasova

O registo de cultivares de *H. macrophylla* é extenso, com mais de 500 cultivares catalogadas (Wade, 2009). Geralmente, são agrupadas em dois principais tipos: as hortênsias *mophead* e as *lacecap*. As *mophead* são reconhecidas pelas inflorescências em forma de bola, enquanto as *lacecap* tendem a apresentar uma forma mais plana, com flores férteis no

centro e flores estéreis mais ornamentadas na periferia (Bailey, 1980). A distinção entre os dois grupos reflete não apenas diferenças morfológicas, mas também variações genéticas que influenciam o desenvolvimento das inflorescências.

### **2.1.2. Panorama geral da floricultura e representatividade da *Hydrangea* em Portugal, na Europa e no Mundo**

A floricultura é um dos setores agrícolas mais significativos a nível global, com o mercado de flores e plantas ornamentais avaliado em aproximadamente 24,7 mil milhões de Euros em 2023. Este setor abrange uma ampla gama de produtos, desde flores de corte a plantas ornamentais em vaso, e está distribuído por diversas regiões, cada uma contribuindo de maneira substancial para o volume de produção e valor económico gerado. A nível mundial, a área destinada ao cultivo de flores de corte e plantas em vaso é de cerca de 678 500 ha sendo a maior porção localizada na Ásia, representando mais de dois terços da produção mundial (AIPH, 2023).

A Ásia/Pacífico lidera em área de cultivo, com cerca de 524 mil ha, gerando 7,7 mil milhões de Euros. Dentro desta região, a Índia destaca-se com a maior área cultivada (282 mil ha) seguindo-se a China com cerca de 188 mil ha, sendo a que mais contribui para o valor económico regional (AIPH, 2023).

Embora a Ásia seja dominante em área de produção ornamental, a Europa com 55 600 ha cultivados gerou 9,4 mil milhões de Euros em 2023, posicionando-se como o maior centro de comércio mundial (AIPH, 2023). Apesar deste resultado, o mercado Europeu sofreu uma quebra de valor de produção em resultado da pandemia de COVID-19, tendo atingido 22 mil milhões de Euros em 2019 (European Commission- Agriculture and Rural Development, 2020).

Os Países Baixos sobressaem-se como um dos principais líderes no comércio mundial de flores e plantas ornamentais. O sistema de leilão é amplamente utilizado como o principal mecanismo de comercialização e distribuição internacional de plantas e flores ornamentais (Huylenbroeck, 2014; UNECE, 2024). Em 2023, a Royal FloraHolland, transacionou cerca de 5,1 mil milhões de Euros, solidificando a posição dos Países Baixos no setor. Nesse contexto, a *Hydrangea* emergiu como uma cultura de destaque, ocupando o segundo lugar na lista plantas de jardim mais comercializadas nos leilões da Royal FloraHolland em 2023 (Royal Flora Holland, 2023).

Em Portugal, a importância económica da produção de hortênsias é evidente, apesar de dados específicos serem limitados e desatualizados. Entre 2002 e 2012, foram comercializadas cerca de 2,25 milhões de plantas de hortênsia, de acordo com dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2013). Este volume de produção demonstra a relevância da hortênsia no panorama nacional de plantas ornamentais.

O Alentejo é responsável por 26% da superfície florícola, sendo conhecido pela produção de flores de corte, especialmente no município de Odemira, que explora 23% da área nacional de flores de corte. A região de Lisboa, incluindo Montijo e Alcochete, também contribui significativamente, com 11% da área dedicada a flores de corte em cada um destes municípios. No Algarve, a produção de plantas ornamentais representa 20% do total nacional, o que evidencia a diversidade do setor florícola a nível nacional (INE, 2013).

### 2.1.3. Morfologia da planta

A hortênsia é uma planta arbustiva semilenhosa, caducifólia, com ramificação densa desde a base (Figura 3). No seu habitat natural, ou em clima do tipo mediterrâneo com irrigação suplementar, pode atingir os quatro metros de altura (Hartmann et al., 1981).



Figura 3: Planta de *Hydrangea macrophylla* 'Hi White Sun'. Fonte: Hibbreeding, 2024.

Os caules são lenhosos, nodosos, de coloração acinzentada clara e marcados por estrias longitudinais, enquanto os ramos juvenis são lisos e esverdeados (Garcia Gallo et al., 2008) (Figura 4).

O sistema radicular da hortênsia é fasciculado, com raízes que se espalham amplamente no solo, proporcionando ancoragem e absorção de nutrientes e água de maneira

eficiente. As folhas são simples, opostas, pecioladas, coriáceas e reluzentes. Apresentam uma textura rugosa e são profundamente sulcadas pelas nervuras. Têm formato elíptico e margem denteada, podendo alcançar até 25 cm de comprimento e 12 cm de largura (Garcia Gallo et al., 2008).

As inflorescências são dispostas em corimbo, compostas por flores estéreis com sépalas alargadas e flores férteis inconspícuas, localizadas sob as flores estéreis. As estruturas que parecem pétalas são, na verdade, brácteas situadas abaixo da flor, como representado na Figura 5 (Bailey, 1980).



Figura 4: Caules da *Hydrangea macrophylla* 'Hi White Sun'.



Figura 5: Inflorescências da *Hydrangea macrophylla* 'Hi White Sun'.

#### **2.1.4. Exigências edafoclimáticas da cultura**

A hortênsia é uma espécie ornamental cujo desenvolvimento e floração são influenciados pelas condições edafoclimáticas. Esta espécie prefere climas temperados a frescos para um crescimento ideal, sendo o crescimento vegetativo promovido quando as temperaturas noturnas se verificam abaixo de 16 °C. Períodos noturnos mais frios, entre 11 e 14 °C, resultam em hastes mais altas, folhas mais largas e inflorescências maiores em comparação com temperaturas mais altas, entre 17 °C e 18 °C (Ball, 2021). Regiões de latitudes mais elevadas, onde as temperaturas noturnas são naturalmente mais frias, tendem a antecipar a indução floral e a floração. No entanto, caso as temperaturas não sejam suficientes para quebrar a dormência vegetativa, pode ser necessário recorrer a estufas aquecidas durante o verão para assegurar a antecipação da floração (Bailey, 1980). Em

Portugal, as condições climáticas são adequadas para garantir este ciclo natural, sendo apenas necessário recorrer ao uso de frio para assegurar o período de dormência, a fim de garantir a floração.

A hortênsia requer elevada humidade relativa do ar, especialmente durante os períodos de crescimento vegetativo e floração. Codarin et al. (2006) demonstrou que uma humidade relativa de 80% promove maior crescimento das plantas e das folhas em comparação com 50%. A insuficiência de humidade pode causar a murchidão das folhas e a queda prematura das flores.

O substrato adequado para o cultivo desta espécie deve ter arejamento acrescido, assim como retenção de água adequada a fim de promover a humidade na parte radicular. Usualmente, esta combinação é frequentemente obtida com recurso a misturas de turfa (Bailey, 1980). Esta espécie tolera moderadamente a salinidade do substrato/solo, suportando valores entre 2 e 4 dS/m no substrato (Bañón et al., 2019). Conforme a cultivar, as inflorescências podem ter colorações brancas, vermelhas ou cor-de-rosa/azuis, sendo estas últimas determinadas pela aplicação de fertilizantes NPK específicos, como 20-10-10 para flores cor-de-rosa e 25-5-30 para flores azuis (Anderson et al., 2009; Bailey, 1980).

O pH do substrato desempenha um papel crucial na assimilação de nutrientes e na coloração das flores da hortênsia. Solos ligeiramente ácidos a neutros, com pH entre 6 e 6,5, favorecem flores cor-de-rosa, uma vez que nestas condições o alumínio está menos disponível para a planta, o que, combinado com níveis apropriados de fósforo e potássio, ajuda a intensificar essa coloração (Bailey, 1980; Hemsley & Poole, 2004).

Por outro lado, solos ou substratos ácidos, com pH entre 5 e 5,5, aumentam a disponibilidade de alumínio, resultando em flores azuis promovendo uma melhor absorção de nutrientes. A hortênsia é uma planta acumuladora de alumínio, e a interação entre este elemento e as antocianinas presentes nas sépalas vão determinar a cor azul das flores (Bailey, 1980; Kodama et al., 2016; Yoshida et al., 2008).

### **2.1.5. Ciclo de produção comercial**

O ciclo de produção da hortênsia inicia-se com a obtenção de estacas herbáceas não enraizadas, colhidas das plantas-mãe de cada cultivar. As plantas-mãe são sujeitas a rigoroso controlo a fim de promover o seu crescimento vegetativo, e desta forma, garantir a qualidade das estacas (Figura 6). Na primavera e verão, as estacas herbáceas são enraizadas em tabuleiro de enraizamento com alvéolos preenchidos por substrato com mistura de turfa, com capacidade de arejamento e retenção de humidade (Figura 7). Alternativamente, é também possível a propagação de hortênsia através de estacas semilenhosas, onde se remove parcialmente as folhas para promover o enraizamento eficaz em substrato (Bailey, 1980).

Durante os meses de primavera e verão, ocorre o crescimento e desenvolvimento vegetativo das hortênsias na primeira fase de vaso, onde é essencial a monitorização contínua da humidade do substrato sendo essencial para prevenir problemas como o stress hídrico e murchidão foliar, que pode limitar o crescimento e qualidade (Bailey, 1980).

Com o arrefecimento progressivo e encurtamento do fotoperíodo durante o outono, as plantas sofrem naturalmente a queda das suas folhas, onde são transferidas para condições de armazenamento refrigerado, caso não se consigam obter baixas temperaturas contínuas naturalmente (Figura 8). A baixa temperatura induz os botões de inflorescência a entrar em repouso, um estágio crucial para o desenvolvimento dos botões florais que florescerão na primavera seguinte (Bailey, 1980).

Com o aumento de temperatura e fotoperíodo verificado no decurso da primavera, as plantas com botões florais são transferidas para ambientes estufas (aquecidas ou não), onde são ajustadas as condições que forcem floração uniforme e de alta qualidade. Neste período, são aplicados reguladores de crescimento para controlar a altura das plantas e promover uma estrutura robusta e bem desenvolvida (Ball, 2021) (Figura 9). Após essa fase, começa a diferenciação floral (Figura 10).

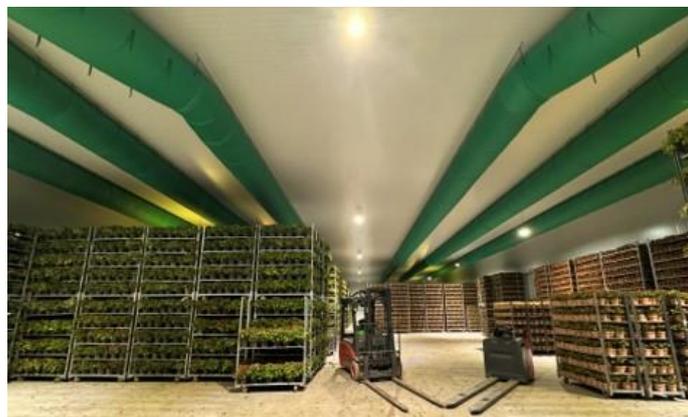
A fim de prolongar a disponibilidade comercial desta espécie em vaso, o ciclo de desenvolvimento natural da planta pode ser modelado a fim de se adaptar às exigências de mercado, prolongando a sua disponibilidade. Esta adaptação pode ser feita com recurso a armazenamento a frio, induzindo a floração, ou através da aplicação de reguladores de crescimento (PGRs) para promover o aspeto compacto (Sonogo & Bellé, 1996).



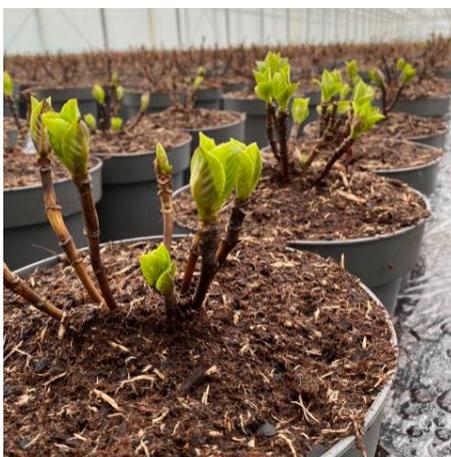
*Figura 6: Vasos com as plantas-mãe.*



*Figura 7: Estacas enraizadas em tabuleiros de enraizamento de 40 alvéolos.*



*Figura 8: Armazenamento em câmara refrigerada de planta no final da fase vegetativa, para promoção da dormência.*



*Figura 9: Crescimento no início da indução floral.*



*Figura 10: Início da diferenciação das sépalas.*

### **2.1.6. Danos, conservação e perda de valor comercial em plantas ornamentais**

A produção de plantas ornamentais não se limita ao cultivo em estufa, sendo o transporte, armazenamento e comercialização igualmente determinantes para preservar a qualidade e o valor comercial do produto. A aparência visual é o principal critério de escolha dos consumidores, sendo essencial para a sua aceitação no mercado (Noordegraaf, 1994).

Após a colheita, as hortênsias apresentam uma elevada necessidade de água, tornando a desidratação durante o transporte e venda a retalho um problema recorrente (Arve et al., 2015). Fatores ambientais, como luz, humidade do ar e temperatura, exercem grande influência no comportamento pós-colheita, sendo imprescindível compreender estes aspetos para desenvolver estratégias que garantam a manutenção da qualidade até à compra (Terfa et al., 2012). No caso das hortênsias, a perda de qualidade pós-colheita manifesta-se frequentemente por murchidão de folhas e flores, desidratação e amarelecimento precoce das partes vegetativas. Flores com cores intensas e folhas verdes vibrantes são atributos altamente valorizados pelo mercado, e qualquer dano nesta fase pode comprometer a aceitação comercial das plantas (Buanong et al., 2005; Gago & Monteiro, 2012). A abscisão de folhas, o amarelecimento ou a senescência prematura são indicadores de baixa qualidade que afetam diretamente a perceção do consumidor e a longevidade das plantas em ambientes comerciais (Ranwala & Miller, 2005). Durante o transporte e armazenamento, as plantas estão sujeitas a condições subótimas, como variações de temperatura e humidade, assim como luz inadequada, que podem afetar negativamente a sua integridade fisiológica e visual (Starman et al., 2007). Estas alterações na qualidade podem resultar em perdas económicas consideráveis para produtores e comerciantes (Noordegraaf, 1994; Wang et al., 2005).

## **2.2. Importância da luz no crescimento das plantas**

A luz influencia diretamente processos fisiológicos essenciais nas plantas, tais como a fotossíntese, a fenologia e a morfologia (Fukuda et al., 2008; Goins et al., 1997). Através da fotossíntese as plantas convertem a luz em energia química, essencial para a produção de hidratos de carbono que sustentam o crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas (Taiz et al., 2014). Além da fotossíntese, a luz tem também um efeito na morfologia da planta e dos seus órgãos – a fotomorfogénese. Este processo é mediado por fotorreceptores, incluindo fitocromos, criptocromos e fototropinas, que detetam variações na qualidade, quantidade e

direção da luz (Muneer et al., 2014). Os fitocromos são particularmente sensíveis à luz vermelha e infravermelha, enquanto os criptocromos e fototropinas respondem à luz azul. Os fitocromos regulam processos como a germinação das sementes, alongamento do caule e floração, ao alternar entre as suas formas ativa (Pfr) e inativa (Pr) em resposta à luz vermelha e infravermelha, respetivamente. A luz azul, percebida pelos criptocromos, influencia a abertura dos estomas, a expansão das folhas e a orientação das plantas em direção à fonte de luz, sendo este último denominado por fototropismo (Taiz et al., 2014).

Os comprimentos de onda mais eficazes para a fotossíntese estão na faixa do azul (420-450 nm) e do vermelho (600-700 nm), e são absorvidos de forma eficiente pelos pigmentos fotossintéticos. A qualidade e a quantidade da luz influenciam diretamente a taxa fotossintética, podendo limitar o crescimento das plantas ou causar fotoinibição com intensidades luminosas inadequadas (Taiz et al., 2014). A intensidade da luz também desempenha um papel crucial no crescimento, morfogénese e outras respostas fisiológicas das plantas (Ali et al., 2005; Schneider et al., 2006).

Cada pigmento fotossintético possui uma resposta específica ao espectro visível, com maior sensibilidade nos extremos vermelho e azul (Muneer et al., 2014). O intervalo de comprimento de onda de 400 a 700 nm, conhecido como radiação fotossinteticamente ativa (*Photosynthetic Active Radiation* ou PAR), é essencial para sustentar a fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2021).

No entanto, um dos desafios críticos reside em fornecer, de maneira controlada, luz em quantidade e qualidade adequada para o crescimento e desenvolvimento ótimo das plantas (Dong et al., 2014; Samuolienė et al., 2013). A garantia de um ambiente luminoso adequado é essencial para otimizar o crescimento, morfogénese e outras respostas fisiológicas das plantas ao longo de seu ciclo de vida.

### **2.3. O uso da iluminação artificial em horticultura**

A investigação sobre iluminação artificial para horticultura teve início em meados do século XIX, com as primeiras experiências documentadas em 1860. Apesar das limitações tecnológicas da época, esses estudos pioneiros estabeleceram as bases para o desenvolvimento subsequente na área (Pfeiffer, 1926). Contudo, foi apenas na década de 1980, impulsionada por preocupações relacionadas às mudanças climáticas e ao crescimento populacional, que se verificou um avanço significativo na aplicação de técnicas de iluminação

artificial em ambientes agrícolas (Fylladitakis, 2023). Durante este período, tecnologias como as lâmpadas de sódio de alta pressão (HPS) emergiram como opções viáveis, combinando eficiência energética com a capacidade de fornecer luz em comprimentos de onda favoráveis ao crescimento das plantas (de Groot & van Vliet, 1986; Tibbitts et al., 1983).

Atualmente, diversas tecnologias de iluminação são aplicadas na horticultura, incluindo lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (HPS) e díodos emissores de luz (LEDs). A seleção da fonte de luz é um fator crítico, uma vez que a qualidade (comprimento de onda), quantidade (fluxo e frequência de fótons) e a duração da luz (fotoperíodo) influenciam a arquitetura das plantas, o crescimento vegetativo, a floração e a produtividade, alterando também a fisiologia da planta (atividade fotossintética, abertura estomática, biossíntese da clorofila) (Cheng et al., 2022; Hidaka et al., 2013; Li et al., 2012; Takeda et al., 2008).

As lâmpadas HPS são amplamente utilizadas na horticultura devido à sua capacidade de emitir luz em comprimentos de onda que favorecem o crescimento das plantas. No entanto, apresentam desvantagens significativas, incluindo eficiência energética inferior em comparação com tecnologias mais recentes e elevada geração de calor, o que pode limitar o seu uso em determinadas condições de cultivo (Massa et al., 2008)

Por outro lado, os LEDs emergiram como uma alternativa promissora às fontes de luz tradicionais, oferecendo várias vantagens. Estes dispositivos destacam-se pela sua dimensão compacta, longa vida útil, que pode variar entre 50 000 e 100 000 horas, e a baixa emissão de calor, minimizando o risco de danos às plantas (Massa et al., 2008; Singh et al., 2015; Vänninen et al., 2010). Além disso, os LEDs destacam-se pela capacidade de emitir luz em comprimentos de onda específicos, como o vermelho e o azul, permitindo a otimização das respostas fisiológicas das plantas, ao promover uma fotossíntese mais eficiente e influenciar positivamente a morfologia das plantas (Singh et al., 2015). Estas características tornam os LEDs particularmente adequados para aplicações em horticultura, especialmente em ambientes controlados. Os LEDs podem ser posicionados mais próximos das plantas sem causar danos, o que aumenta a eficiência energética e reduz os custos operacionais, tornando-os uma escolha economicamente viável para a horticultura (Almansa et al., 2018).

Os primeiros estudos foram dirigidos por Bula et al. (1991) onde se sugeriu o uso de LEDs para o cultivo de plantas, demonstrando que a luz vermelha suplementada com luz azul poderia ser eficaz no crescimento de alface (*Lactuca sativa*). Este estudo pioneiro abriu caminho para uma série de investigações subsequentes, incluindo a de Hoenecke et al. 1992, que confirmou que a adição de luz azul era essencial para evitar o alongamento excessivo

das mudas, e Yanagi et al. 1996, que demonstrou a eficiência dos LEDs vermelhos e azuis na promoção de taxas fotossintéticas mais elevadas em morango (*Fragaria ananassa*) e arroz (*Oryza sativa*) (Matsuda et al., 2004).

A eficácia da iluminação artificial em horticultura protegida é evidenciada em diversos casos de estudo. Em cultivo de tomate, o uso de LEDs não só aumentou a produtividade, como também melhorou a qualidade dos frutos, elevando o teor de vitamina C (Almansa et al., 2018). Em cultivos de melancia, a combinação de LEDs vermelhos e azuis promoveu um crescimento mais rápido e frutos de melhor qualidade em comparação à iluminação fluorescente tradicional (Bantis et al., 2020). No caso da canábis medicinal, LEDs ajustados a espectros específicos melhoraram o rendimento e a concentração de compostos ativos, como canabinoides (Cheng et al., 2022).

A qualidade da luz também é crucial em plantas ornamentais, como evidenciado pela importância da luz vermelha na floração e na formação dos entrenós (Deitzer et al., 1979; Downs, 1956). Estudos realizados em *Euphorbia pulcherrima*, Islam et al. 2012 mostraram que a combinação de LEDs com 20% de luz no espectro do azul e 80% de luz no espectro do vermelho resultou numa maior compactidade das plantas, reduzindo a necessidade de reguladores de crescimento. Além disso, os mesmos autores (Islam et al., 2014) concluíram que a exposição a luz vermelha no final do dia por 30 minutos suprimiu o alongamento dos entrenós, demonstrando a capacidade dos LEDs de influenciar a morfologia das plantas de acordo com o espectro de luz utilizado.

No caso da hortênsia, Terfa & Torrea (2019) investigaram o impacto de diferentes fotoperíodos utilizando lâmpadas HPS durante o período indução floral e concluíram que embora o aumento do fotoperíodo de 16 para 24 horas não tenha alterado significativamente o tempo de floração ou a morfologia das plantas, este aumentou em cerca de 50% a taxa transpiratória na fase pós-colheita. Esses resultados evidenciam a importância de ajustar as condições de iluminação para otimizar a produção, a qualidade e a longevidade das plantas ornamentais, especialmente em contextos de cultivo controlado.

Um estudo conduzido por Nordli et al. 2011 investigou os efeitos da temperatura e do fotoperíodo na morfologia e no tempo de floração de duas cultivares de *Hydrangea macrophylla* em condições de estufa. As cultivares 'Early Blue' e 'Schneeball' foram sujeitas a diferentes tratamentos de iniciação floral em câmaras de crescimento, utilizando lâmpadas HPS. Os resultados demonstraram que a temperatura do ar moderada (17 °C) é um fator determinante na transição floral, promovendo uma floração mais rápida e plantas mais compactas, sem a necessidade de reguladores de crescimento. Em contraste,

temperaturas mais altas (24 °C) prolongaram o tempo de floração e resultando em plantas mais altas, com um número reduzido de botões florais laterais. O tratamento de fotoperíodo curto mostrou-se eficaz apenas em temperaturas elevadas, com efeitos mais pronunciados na cultivar 'Schneeball'. Este estudo sublinha a importância de controlar a temperatura e o fotoperíodo para otimizar a produção de *Hydrangea* em estufas, visando um cultivo mais eficiente e com melhor qualidade morfológica, sendo que o efeito do genótipo também deve ser considerado.

### **2.3.1. Efeitos de aplicação de luz artificial ao final do dia**

O efeito "*End of Day*" (EOD) é um mecanismo pelo qual as plantas se adaptam a stresses luminosos. O EOD envolve a manipulação da relação entre luz LED com espectro no vermelho (R) e luz LED com espectro no vermelho longínquo (FR) no final do dia, influenciando diretamente o alongamento dos caules e outras características morfológicas das plantas. A exposição à luz FR ao final do dia pode aumentar o alongamento dos caules, enquanto a luz R tende a inibir esse crescimento. Embora o efeito varie com a espécie, a relação R/FR durante toda a fase de luz ou em curta duração (10-60 minutos) ao final do dia permite o controlo eficaz do alongamento do caule em várias espécies. (Blom et al., 1995; Islam et al., 2014; Kasperbauer & Peaslee, 1973; Smith, 1995).

Este fenómeno é mediado pelo fitocromo, um fotorreceptor sensível às diferentes qualidades de luz, que regula a morfologia da planta e a partição fotossintética. A quantidade de Pfr (a forma ativa do fitocromo) relativa à quantidade total de fitocromo no início do período escuro desempenha um papel crucial na regulação desses processos (Rajapakse et al., 1993). A manipulação da relação R/FR no EOD pode, portanto, alterar significativamente a arquitetura da planta, otimizando a exposição das folhas à luz e potencializando a eficiência fotossintética.

No entanto, as respostas ao EOD não são uniformes e podem variar conforme outras condições ambientais, como a irradiância total, outros componentes da qualidade espectral da luz e a temperatura ambiente (Smith, 1995). Estas variáveis podem modular a resposta do fitocromo, e conseqüentemente, o crescimento e desenvolvimento da planta. Em condições de alta irradiância, o efeito de alongamento promovido pela luz FR pode ser mais pronunciado, podendo ser suprimido em baixa irradiância.

Num estudo em poinsétias, mostrou-se que estas são sensíveis à manipulação do estado do fitocromo no EOD. Dependendo da cultivar, um tratamento de 30 minutos com luz R ao final do dia suprimiu o alongamento do caule em até 55% comparado com o tratamento com luz FR. Esses efeitos foram acompanhados por alterações no metabolismo hormonal, incluindo a redução fitohormonas reguladoras de crescimento, como a giberelina (GA) e a auxina (IAA), além da diminuição nos níveis de ácido abscísico (ABA), sugerindo uma complexa interação entre a qualidade da luz e a regulação hormonal (Islam et al., 2015).

No cultivo de estufa, diferentes espécies de plantas, como a petúnia e a poinsétia, apresentam alongamento reduzido em resposta à luz R e aumento do alongamento em resposta à luz FR, especialmente quando essas exposições ocorrem ao final do dia (Ilias & Rajapakse, 2005; Islam et al., 2012). Este efeito foi verificado nas espécies de petúnia e poinsétia, evidenciando a sensibilidade ao EOD em ambientes de luz natural, onde a proporção de FR aumenta no final do dia. Tal condição pode induzir o crescimento excessivo indesejado em espécies cultivadas em estufa (Nilsen, 1985).

## **2.4. Reguladores de crescimento e as suas alternativas**

Os consumidores de plantas ornamentais têm a expectativa e preferência por produtos uniformes em tamanho, arquitetura compacta, densa e simétrica, aspetos determinados durante o seu cultivo (Cameron et al., 2006; Glasgow et al., 1998; Lütken et al., 2012; Meijón et al., 2009). A produção uniforme permite otimizar o uso de espaço durante a fase de cultivo, assim como facilitar a logística de transporte, proporcionando benefícios operacionais significativas aos produtores (Hayashi et al., 2001). Outro aspeto importante está relacionado com a manipulação do ciclo de desenvolvimento da planta, o que permite o ajuste dos períodos de floração, resultando na extensão das janelas temporais de comercialização, favorecendo a procura sazonal (Hayashi et al., 2001). Nesse contexto, os reguladores de crescimento de plantas (PGRs) têm sido muito utilizados como ferramentas eficazes na modulação de aspetos morfológicos e fisiológicos das plantas ornamentais. Os PGRs consistem em compostos que, ao serem aplicados, interferem nas cadeias hormonais das plantas, podendo atuar tanto de forma sistémica quanto localizada. Ao modularem o crescimento, permitem controlar características específicas das plantas, seja no crescimento total ou em partes específicas, promovendo resultados estéticos desejáveis. (Davies, 2010). A sua eficácia tem sido demonstrada ao longo dos anos no controlo de características como altura, ramificação e floração de diversas espécies ornamentais, incluindo crisântemos, lírios

e poinsetias (Larson, 1985). Além de restringirem o alongamento dos entrenós, os PGRs podem incrementar o número de rebentos e inflorescências, resultando em plantas com qualidades estéticas aprimoradas (Keever & Foster, 1989; Whealy et al., 1988).

No entanto, o uso dos PGRs não está isento de desvantagens. A aplicação inadequada ou excessiva desses compostos pode resultar em efeitos indesejáveis, como malformações vegetais (por exemplo, folhas deformadas) e diminuição da resistência das plantas a doenças e pragas. Além disso, a utilização de PGRs pode causar impactos ambientais negativos, incluindo fitotoxicidade, contribuir para a poluição de águas e substratos, levantando preocupações ambientais significativas (Meijón et al., 2009). Ademais, o custo financeiro associado à aquisição e aplicação dos PGRs constitui um fator relevante a ser considerado pelos produtores.

Entre os PGRs mais comumente empregados para o controle da altura das plantas de *Hydrangea* encontram-se a daminozida (Bailey, 1980), o paclobutrazol e o uniconazol (Bailey & Clark, 1992). Hartmann et al. 1981 recomendam o uso de daminozida para reduzir o comprimento dos entrenós, podendo ser aplicada durante o verão, visando a diminuição do comprimento dos entrenós no período de crescimento vegetativo e antes do início do período de dormência, assim como na primavera, durante o período de indução da floração, após o período de dormência.

Diante das limitações e dos riscos associados ao uso contínuo de PGRs, o uso de tecnologias inovadoras de iluminação, particularmente os LEDs, tem emergido como uma alternativa promissora para o controle do crescimento vegetal (Folta & Childers, 2008; Massa et al., 2008; Singh et al., 2015). A iluminação LED permite a modulação do espectro e da intensidade luminosa conforme as necessidades específicas das plantas em diferentes estágios de desenvolvimento. Neste sentido, Ouzounis, (2015) sugere a combinação do uso de luz no espectro do azul e vermelho para a promoção da compactidade das plantas, assim como a melhoria da qualidade das flores e aumento da eficiência fotossintética.

No caso específico das hortênsias, a aplicação de LEDs representa uma abordagem inovadora e sustentável para controlar o crescimento das plantas, reduzindo a necessidade de PGRs. A luz no espectro do azul é conhecida por inibir o alongamento dos entrenós e favorecer uma morfologia mais compacta, enquanto a luz no espectro do vermelho pode estimular a floração e o crescimento vegetativo (Massa et al., 2008). Além de proporcionar melhorias na qualidade morfológica das plantas, o uso de LEDs tem consumo energético mais eficiente quando comparado com outras fontes de luz artificial, resultando numa redução dos custos operacionais e do impacto ambiental na produção de plantas ornamentais.

### 3. Materiais e métodos

#### 3.1. Local e condições de crescimento

O ensaio foi conduzido nas estufas da empresa Jacobus van Schie, localizada em Pegões (38°41'09.9"N, 8°37'59.7"W), no concelho do Montijo, Portugal. Esta empresa, especializada na produção de *Hydrangea macrophylla*, tem área de produção estimada em 35 ha, com produção anual de 30 milhões de plantas de *Hydrangea*, disponível nos estádios de desenvolvimento de estacas não enraizadas (provenientes de plantas-mãe), estacas enraizadas, meio-crescimento, pré-floração e floração.

De acordo com a classificação climática de Köppen e Geiger, a região de Pegões possui um clima Csa, que corresponde a um clima mesotérmico (temperado mediterrânico) caracterizado por verões secos e quentes. Esta classificação indica a presença de verões com temperaturas elevadas e baixa precipitação, enquanto os invernos são suaves e relativamente húmidos. A temperatura média no mês mais quente, julho, é superior a 23 °C, com o valor máximo registado a atingir 43,5 °C. No mês mais frio, janeiro, a temperatura média é de cerca de 10 °C, com um mínimo histórico de -4,8 °C. Estas variações térmicas refletem a forte amplitude sazonal típica deste tipo de clima. A precipitação também apresenta uma distribuição sazonal marcante. No mês mais seco, julho, a precipitação é inferior a 4 mm, enquanto no mês mais húmido, dezembro, a média de precipitação atinge 124,7 mm, conforme os dados climáticos do período de 1981-2010 da estação meteorológica de Setúbal (IPMA, 2024).

O ensaio decorreu entre março e junho de 2024, utilizando uma estufa comercial do tipo multitúnel, com uma área total de 603 725 m<sup>2</sup> (Figura 11). A estrutura é em aço galvanizado, com um design de duas águas e uma altura total de 5,8 m, dos quais 2,3 m correspondem à altura da abóboda. As janelas estão localizadas no topo das naves, que possuem 88 m de comprimento. A cobertura e as laterais são feitas de polietileno de três folhas, equipada com uma rede de sombreamento retrátil horizontal, separada em setores de 4 m. O chão é revestido em lona tecido de polipropileno.



Figura 11: Local do ensaio.

A estufa está equipada com um sistema automatizado de monitorização e controlo climático, que regista instantaneamente parâmetros como a temperatura do ar e a humidade relativa. O sistema de ventilação conta com mecanismos automáticos de abertura e fecho, que garantem um controlo preciso das condições ambientais internas, ajustando-se automaticamente às variações climáticas externas. Este controlo ambiental é crucial para assegurar o desenvolvimento ideal das plantas durante o ensaio, permitindo a manutenção de uma temperatura e humidade adequadas para o crescimento vegetativo e floração das hortênsias.

### 3.2. Material vegetal

Nos ensaios foram usadas plantas envasadas da *H. macrophylla* cv 'Hi White Sun', desenvolvida pela empresa HiBreeding, dos Países Baixos. A cultivar 'Hi White Sun' é caracterizada pelas suas flores brancas vibrantes, caules fortes e robusto crescimento vegetativo, além de manter a cor das flores ao longo do tempo e apresentar boa resistência a condições ambientais adversas. É uma cultivar de *re-blooming*, ideal para cultivo em vaso e como planta de jardim, pois possui capacidade de florescer novamente ao longo da temporada (Hibreeding, 2024).

No final do seu desenvolvimento comercial, a *H. macrophylla* 'Hi White Sun' atinge entre 30 e 40 cm de altura, dependendo das condições de cultivo. As flores, de um branco puro (código NN155D), variam de diâmetro entre 3,5 e 4 cm. A inflorescência é globosa, levemente deprimida no centro, e atinge entre 15 e 20 cm de diâmetro, proporcionando um

impacto visual notável. As folhas são elípticas ou ovais, com bordas inteiras, variando de 5 a 7,5 cm de largura e 10 a 15 cm de comprimento, em tom verde escuro, criando um elegante contraste com as flores brancas (Club Global Flowers, 2023).

As plantas usadas nos ensaios foram previamente propagadas por via vegetativa, estando devidamente enraizadas. A transplantação das plantas foi realizada no dia 25 de março de 2024 (Figura 12) usando vasos de 23 cm de diâmetro, com volume de 5 L e um substrato específico à base de turfa. Apenas as cinco plantas centrais de cada setor foram utilizadas nas medições semanais, enquanto as plantas de bordadura serviram para minimizar os efeitos de bordo e não foram incluídas nas análises (Figura 13).



*Figura 12: Plantas de Hydrangea macrophylla cv 'Hi White Sun' no processo de envasamento, após o processo de ramificação.*



*Figura 13: Aspeto das plantas no dia da transplantação.*

### **3.3. Condições de produção: rega, nutrição e controlo de pragas e doenças**

O sistema de produção na empresa Jacobus van Schie integra técnicas avançadas de cultivo que asseguram a qualidade e uniformidade das plantas. A rega é realizada através de sistema automático de aspersores, permitindo controlar a quantidade de água fornecida às plantas. Este método minimiza o desperdício de água e assegura que as plantas recebam a hidratação necessária, promovendo um crescimento saudável e uniforme. A frequência de regas é ajustada conforme a fase de desenvolvimento das plantas, sendo, em média,

realizada uma vez a cada três dias. A solução nutritiva utilizada mantém a condutividade elétrica (CE) em 1,2 mS/cm, reduzida para 0,3 mS/cm durante o período de floração.

O substrato utilizado no ensaio é uma mistura especialmente formulada, composta por turfa, casca de pinheiro e fibra de madeira, que proporciona uma excelente capacidade de retenção de humidade e um bom arejamento. O pH do substrato é ajustado entre 4,5 e 5,0, e a CE varia entre 0,2 e 0,4 mS/cm, garantindo uma nutrição equilibrada ao longo de todo o ciclo de cultivo.

A fertilização segue o protocolo padrão da empresa, com a aplicação de fertilizantes solúveis em água durante as irrigações, o que garante a disponibilidade contínua de nutrientes essenciais. A formulação da solução nutritiva é ajustada conforme a fase de crescimento das plantas, garantindo uma nutrição adequada para promover o desenvolvimento vegetativo e a floração.

O controlo de pragas e doenças é gerido por um programa integrado que combina a monitorização regular, o uso de agentes biológicos e a aplicação seletiva de pesticidas, conforme necessário. Embora a frequência exata das aplicações varie em função da pressão de pragas e das condições ambientais, é comum a realização de tratamentos semanais com inseticidas e acaricidas. A rotação de produtos é prática comum, utilizada para evitar o desenvolvimento de resistência das pragas, garantido a sanidade das plantas ao longo do cultivo.

### **3.4. Delineamento experimental**

O ensaio foi conduzido no setor 118 numa das estufas (estufa 3) do complexo da empresa Jacobus van Schie, a qual está subdividida em várias áreas dedicadas a diferentes variedades e estádios de desenvolvimento de *Hydrangea macrophylla*. O delineamento experimental seguiu um esquema de partições aleatoriamente distribuídas, com três repetições, em quatro modalidades de iluminação. A cada conjunto destas foi considerado um bloco, totalizando 12 partições no ensaio. Cada partição continha 12 plantas, resultando num total de 144 plantas no ensaio. Os compartimentos destinados aos tratamentos possuíam dimensões de 4 x 3 metros, proporcionando espaço suficiente para o desenvolvimento adequado das plantas (Figura 14).

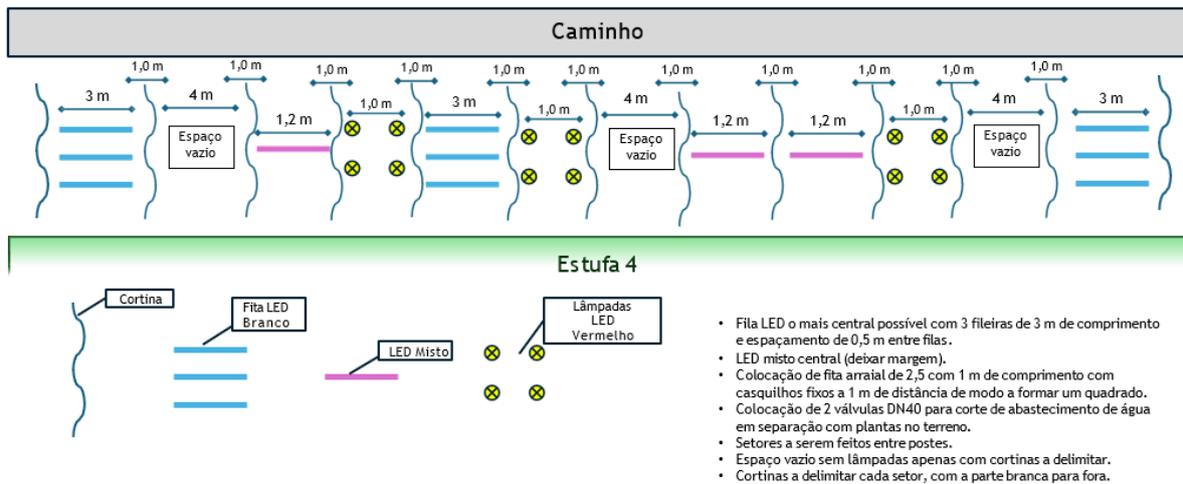


Figura 14: Diagrama do planejamento da montagem do setup.

As plantas foram dispostas nos referidos compartimentos, em alturas variáveis, conforme a modalidade de iluminação aplicada: em 1,70 metros de altura (Figura 15) para os tratamentos V e B, e ao nível do solo para os tratamentos REF e M (Figura 16).



Figura 15: Setup do ensaio experimental com as plantas no solo.



Figura 16: Setup do ensaio experimental com as plantas elevadas a 1,70m.

Para minimizar a interferência luminosa entre os tratamentos, cada setor foi isolado com cortinas de plástico branco e preto, com a face branca voltada para o exterior. Inicialmente, as plantas foram dispostas com um espaçamento de 15 cm entre si, criando uma densidade de seis plantas por metro quadrado. À medida que as canópias das plantas começavam a tocar-se, o espaçamento foi ajustado para evitar crescimento vertical excessivo, promovendo o desenvolvimento lateral e o aspeto arredondado da planta.

### 3.4.1. Tratamentos com luz artificial

Os tratamentos de luz foram aplicados a plantas de *H. macrophylla* ao início da fase de pré-floração, ao longo de sete semanas, até se atingir a fase de completa floração. Os tratamentos consistiram em três tipos de espectro de luz LED:

1. **Luz branca (B):** fitas de LED no espectro do branco no ciclo de 18/6 h (luz/obscuridade).
2. **Luz mista (M):** lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho, no ciclo de 18/6 h (luz/obscuridade).
3. **Luz vermelha (V):** lâmpadas de LED no espectro do vermelho, aplicadas no regime EOD, com 15 minutos de iluminação ao final do dia.

Foram incluídos conjuntos de plantas testemunha (REF), que não receberam iluminação artificial, sendo expostas apenas à luz natural disponível durante o período experimental. Estes grupos testemunha permitiram a comparação com as plantas submetidas à iluminação artificial, para avaliação do impacto específico dos diferentes regimes de luz LED no crescimento e desenvolvimento das plantas.

#### 3.4.1.1. Caracterização espectral

Para compreender o impacto das diferentes fontes de luz artificial usadas no crescimento das plantas, estas foram caracterizadas em termos espectrais utilizando um espectrorradiômetro (Apogee Instruments Inc.® SS-110, Utah, USA). Este dispositivo permitiu medir os seguintes parâmetros, no intervalo de comprimentos de onda entre 340 e 820 nm:

- Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD)
- Fluxo de fótons fotossintéticos (PPF)
- Eficácia dos fótons fotossintéticos (PPE)
- Fluxo de fótons associado ao rendimento (YPF)
- Relação vermelho/vermelho longínquo (R/FR)

### 3.4.1.2. Consumo de energia associado à iluminação

O consumo de energia de cada tipo de iluminação foi avaliado e expresso em  $W.m^{-2}$ . Esta informação é crucial para avaliar o custo operacional e a eficiência energética das tecnologias de iluminação utilizadas. Os valores de consumo de fábrica estão expressos no Quadro 1. Esta análise permite avaliar a eficiência energética das tecnologias utilizadas em relação aos benefícios observados no desenvolvimento das plantas, destacando a relação custo/benefício.

Quadro 1: Características e consumo dos diferentes tipos de iluminação

<i>Tratamento</i>	<i>Tipo de iluminação</i>	<i>Valor</i>	<i>Consumo</i>
<b>Fita LED branca (B)</b>	LED Strip SMD2835	8,58 €/m	12 W/m
<b>LED azul e vermelho (M)</b>	Greenpower Toplighting	150 €	325 W
<b>LED vermelho (V)</b>	Philips Greenpower LED	18 €	9,3 W

### 3.4.2. Avaliação da fase de conservação

Terminado o ensaio de iluminação artificial, quando atingida a floração, foi avaliado o desempenho das plantas em condições que mimetizam o ambiente comercial, não contemplando rega nem climatização artificial.

O comportamento das plantas foi monitorizado a cada dois dias por um período de 18 dias, até completa murchidão. Monitorizou-se o teor de humidade do substrato e a taxa de sobrevivência. A temperatura e a humidade relativa do ar foram registadas com o auxílio de um *data logger*, permitindo complementar a análise detalhada sobre a resistência das plantas. Pretende-se com esta informação perceber se existe relação entre os diferentes regimes de luz aplicados durante a fase de pré-floração, e o desempenho geral das plantas sujeitas a condições simuladas de transporte e ponto de venda.

### 3.5. Procedimentos experimentais

#### 3.5.1. Medições biométricas e teor de clorofila

No período em que decorreu o ensaio foram realizadas medições semanais dos parâmetros de crescimento, morfologia e qualidade das plantas, sendo estes:

- **Altura das plantas:** Medida com fita métrica, registando-se a progressão do crescimento ao longo do período de avaliação. A medição foi considerada desde o bordo do vaso até à extremidade do lançamento mais alto.
- **Teor de clorofila:** Utilizando o medidor de clorofila (Chlorophyll Meter CL 01, Hansatech, Kings Lynn, UK), para avaliar a densidade de clorofila nas folhas, nos dois pares de folhas localizados abaixo dos botões florais mais desenvolvidos.
- **Espessura das folhas:** Medida com uma craveira digital (MacFer® D304, Tavares & E. Faria Tavares, Portugal; precisão 0,02 mm) em dois pares de folhas localizados abaixo dos botões florais mais desenvolvidos (Figura 17).



*Figura 17: Medição da espessura das folhas com a craveira digital.*

### 3.5.2. Monitorização das condições ambientais e de rega

Para garantir a uniformidade das condições ambientais, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- **Data Loggers:** Foram instalados 2 equipamentos (FlashLink® Model 20248, DeltaTrak, Pleasanton, CA, EUA), para registar a temperatura e a humidade relativa ao longo do período experimental, tanto num tratamento realizado no solo como num realizado no patamar elevado a 1,70m (Figura 18).
- **Condições culturais:** O período de rega foi equivalente ao praticado na empresa, ajustando-se às necessidades hídricas das plantas. A condução das plantas (o substrato, a fertilização e os fitofármacos, etc) seguiram os procedimentos padrão da empresa, de forma a assegurar que as condições de iluminação fossem as únicas variáveis experimentais.

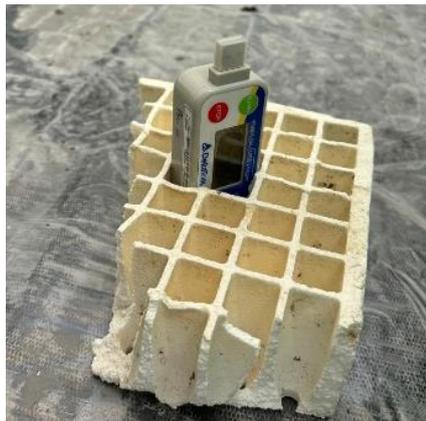


Figura 18: Instalação do datalogger.

### 3.5.3. Análises pós-colheita

As plantas utilizadas nas medições no decorrer do ensaio foram submetidas a análises adicionais no pós-colheita:

- **Medições com porómetro:** Mediu-se com o equipamento de leitura (LI 600, LICOR Biosciences, Lincoln, EUA) a fluorescência e condutância estomática, no par de folhas abaixo da maior inflorescência de cada planta (Figura 19).

- **Medições com o colorímetro:** Medição dos parâmetros de cor  $L$ ,  $a$  e  $b$ , pelo sistema CIELAB, utilizando o colorímetro (CR-400, Konica Minolta, Tokyo, Japão) em 2 pares de folhas. No sistema CIELAB, os parâmetros são calculados da seguinte forma:

- Luminosidade ( $L^*$ ): representa a claridade da cor, variando de 0 (preto) a 100 (branco).
- Saturação (*Chroma*,  $C^*$ ): calculada utilizando os componentes  $a$  (que varia entre verde e vermelho) e  $b$  (que varia entre azul e amarelo) com a fórmula:

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2}$$

- Tonalidade (*Hue Angle*,  $h^*$ ): determinada pelo ângulo entre os componentes  $a$  e  $b$ :

$$h^* = \arctan \frac{b}{a}$$

- **Área foliar unitária:** Uma folha foi destacada para análise, localizada abaixo da maior inflorescência, utilizando a aplicação móvel Leafbyte (versão 1.4.0, disponível para Android e iOS) (Figura 20).
- **Secagem e pesagem:** A parte aérea das plantas foi separada das raízes (Figura 21) e pesada com uma balança de precisão (Radwag WLC 1/A2, Radom, Polónia; precisão de 0,01 g) (Figura 22). Em seguida, foram secas numa estufa de polietileno (Figura 24). Após uma semana, foram transferidas para uma incubadora (Binder BD 1115, Tuttlingen, Alemanha) a 60 °C até peso constante, para cálculo peso seco e a percentagem de humidade durante três dias (Figura 23).
- **Determinação do teor de fenóis solúveis:** Foram utilizados 200 mg de folhas moídas e diluídas em 1000 µl de água destilada. A amostra foi centrifugada e o sobrenadante diluído 1:100 para análise no espectrofotómetro (Pharmacia, GeneQuant Pro RNA/DNA calculator, Piscataway, EUA) para determinação da absorvância a 280 nm (Waterhouse, 2003). A absorvância foi convertida em concentração equivalente de ácido gálico recorrendo a uma curva de calibração previamente estabelecida no laboratório.



*Figura 19: Medição com o porômetro da fluorescência e condutância estomática das folhas.*



*Figura 20: Análise foliar unitária.*



*Figura 21: Corte da parte aérea da planta.*



*Figura 22: Pesagem da parte aérea das plantas.*



*Figura 24: Secagem das plantas na estufa de polietileno.*



*Figura 23: Secagem das plantas na incubadora.*

### 3.5.4. Avaliação da conservação: simulação de transporte e tempo de prateleira

Após as plantas atingirem o estágio de floração, foram submetidas a um teste de prateleira tendo sido iniciado com a simulação do transporte rodoviário em temperatura controlada durante 72h, seguido de exposição à temperatura ambiente variável durante 18 dias:

- **Simulação de transporte e armazenamento:** As plantas de bordadura foram colocadas em carrinhos, permanecendo três dias em câmara frigorífica a 18 °C (Figura 26). Posteriormente, foram transferidas para um armazém simulando uma superfície de venda (exemplos supermercado ou *garden center*), onde ficaram sem manutenção, como rega (Figura 26).
- **Medição da humidade do substrato:** Realizada antes do transporte e a cada dois dias durante o teste, utilizando um medidor de humidade do substrato (Delta-T Devices SM150-KIT, Cambridge, UK) (Figura 27).
- **Contagem das plantas comercialmente válidas:** Registada a cada 2 dias, até verificar murchidão.
- **Monitorização ambiental:** Um *data logger* (FlashLink® Model 20248, DeltaTrak, Pleasanton, CA, EUA) foi instalado para registar a temperatura e a humidade relativa durante o ensaio.



Figura 26: Carrinhos de plantas na câmara frigorífica, a simular o processo de transporte.



Figura 25: Carrinhos de plantas no armazém, a simular a vida numa superfície de venda.



Figura 27: Medição da humidade do substrato.

### 3.6. Análise estatística

Após a recolha dos dados, procedeu-se ao seu tratamento através de análise estatística. Inicialmente, foi realizada uma análise sumária aos dados (estatística descritiva). Quando os dados cumpriram os critérios de homogeneidade de variâncias e aproximação à normalidade, foram tratados com recurso à análise de variância (ANOVA). Dado que as violações não eram significativas, optou-se pela análise de variância com um nível de significância de  $\alpha = 0,05$ . Todas as variáveis contínuas (altura, clorofila, espessura das folhas, fluorescência, condutância estomática, saturação, luminosidade e tonalidade da cor das folhas, área foliar e peso fresco/peso seco) foram analisadas diretamente. Quando a ANOVA revelou efeito significativo do fator na variável em estudo, procedeu-se à comparação das médias associadas aos níveis do referido fator pelo teste de Tukey, com um nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Nos quadros, letras diferentes nas colunas "Grupos (Tukey)" correspondem a médias significativamente diferentes pelo referido teste de Tukey com  $\alpha = 0,05$ . A taxa de sobrevivência foi apenas analisada do ponto de vista evolutivo, não estatisticamente.

Todas as análises estatísticas neste estudo foram realizadas no software R, considerando diferenças estatísticas com  $p < 0,05$ .

## 4. Resultados e discussão

### 4.1. Condições de cultivo

Os dados da temperatura do ar e da humidade relativa (HR) do ar foram registados de forma contínua utilizando o *data logger* com medições realizadas em intervalos de 30 minutos ao longo de todo o ensaio. As medições diurnas foram consideradas das 3h às 21h, período em que as luzes estavam ligadas, enquanto as medições noturnas foram registadas das 21h às 3h. Como os tratamentos com luz LED no espectro do branco e luz LED no espectro do azul e vermelho foram colocados em patamares de 1,70 m de altura, este registo foi realizado para perceber se a altura influenciaria o desenvolvimento das plantas, através de variações de humidade e temperatura ambientes. Os resultados estão expressos no Quadro 2.

Quadro 2: Valores médios da temperatura e de HR do ar médias, diurna e noturna (°C e %, respetivamente), plataforma superior e ao nível do solo.

<b>Parâmetro</b>	<b>Plataforma Superior</b>	<b>Nível do Solo</b>
<b>Temperatura média diurna (°C)</b>	21,72	21,86
<b>Temperatura média noturna (°C)</b>	16,53	16,85
<b>Humidade relativa média diurna (%)</b>	77,02	74,55
<b>Humidade relativa média noturna (%)</b>	86,16	84,76

A análise das condições de temperatura (Figura 28: Variação da temperatura do ar ao longo do ensaio, recolhido pelo data logger.) e HR (Figura 29) ao longo do ensaio, nas alturas analisadas de solo e uma plataforma elevada a 1,70 m, não revelou diferenças significativas entre os diferentes patamares de altura das plantas na estufa. Embora as variações de temperatura do ar entre os diferentes patamares não fossem significativas, a HR do ar apresentou pequenas variações. Apesar de, em termos médios, as plantas na plataforma superior apresentarem humidade relativa mais elevada, verificou-se que nesta localização estas entravam em défice hídrico mais rapidamente pela combinação de temperaturas elevadas e HR mais baixas, onde se verificam maiores VPDs e maior evapotranspiração, em comparação àquelas junto ao solo. Esta observação destaca a importância de monitorizar a HR a diferentes alturas para assegurar um desenvolvimento uniforme das plantas, especialmente em cenários onde plantas são posicionadas a diferentes alturas, o que não costuma ser o caso na produção geral.

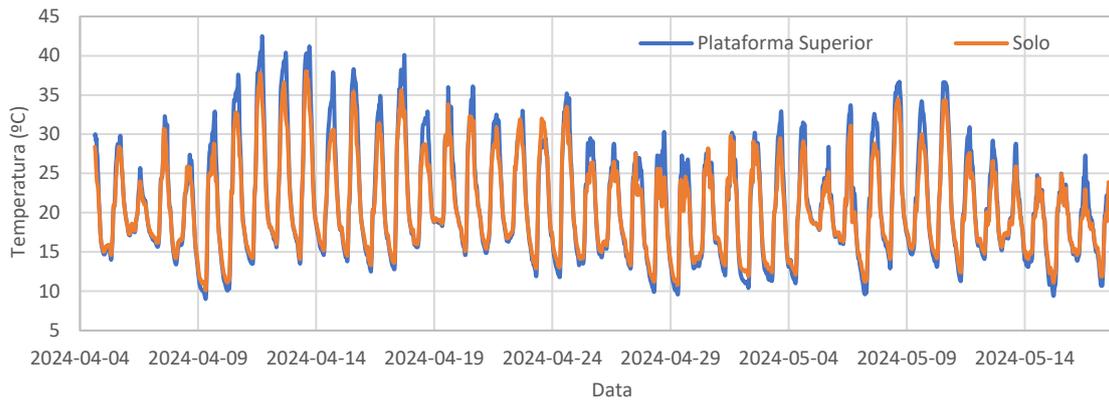


Figura 28: Variação da temperatura do ar ao longo do ensaio, recolhido pelo data logger.

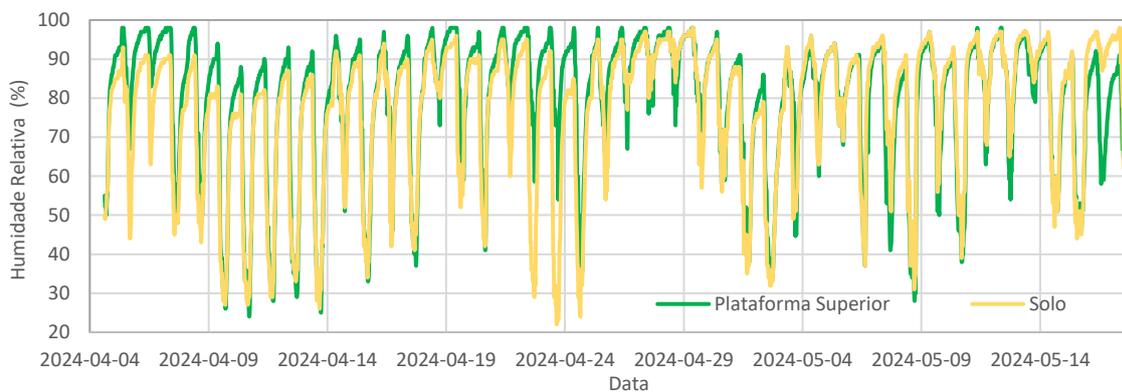


Figura 29: Variação da humidade relativa do ar ao longo do ensaio, recolhido pelo data logger.

Segundo Ball, 2021, o cultivo comercial de hortênsias (*Hydrangea* spp.) deve ocorrer em condições de temperaturas do ar diurnas entre 17 °C e 18 °C, e com temperatura noturna ideal abaixo de 16 °C, com condições ainda mais favoráveis com temperaturas de 11 °C e 14 °C, que promovem um crescimento vegetativo robusto e características desejáveis como hastes mais altas e inflorescências maiores. Adicionalmente, a hortênsia requer elevada HR durante os períodos de crescimento vegetativo e floração, para evitar a murchidão das folhas e a queda prematura das flores (Bailey, 1992).

Comparando a temperatura e a HR observadas neste estudo, conclui-se que essas variáveis climáticas estavam adequadas ao crescimento e desenvolvimento da cultura. As temperaturas noturnas médias registadas no estudo, variaram entre 16,5 °C e 16,9 °C, estando ligeiramente acima do intervalo mais benéfico, mas ainda dentro de uma faixa aceitável para o cultivo das hortênsias e favorável à floração. A HR média, mantida acima de 74% nos períodos diurnos e noturnos, também estava dentro das condições recomendadas na literatura, garantindo um ambiente propício para o desenvolvimento saudável das plantas.

## 4.2. Otimização do *setup* experimental

Para determinar a melhor disposição da iluminação no ensaio, foi realizado um teste preliminar no dia 5 de março de 2024. Este teste teve como objetivo avaliar a distribuição da luz na estufa e o impacto do revestimento da estufa na difusão luminosa com o espectrorradiômetro.

As medições ocorreram em dois locais distintos: a estufa onde o ensaio principal foi realizado (Local 1) e a estufa das plantas-mãe, equipada com as lâmpadas usadas no ensaio (tratamento V) (Local 2).

No Local 1, as medições da luz natural foram feitas a 50 cm, 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m e 6 m da parede da estufa. Foram também realizadas medições longitudinais ao longo do comprimento da estufa a 4 m de distância da parede, em intervalos de 1 m (Figura 30).

Foi igualmente identificado e medido e medido um ponto de incidência direta de luz para avaliar a influência do revestimento da estufa.

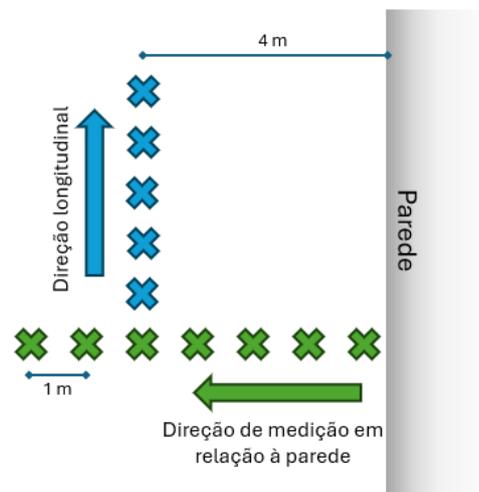


Figura 30: Pontos de medição no Local 1 em planta.

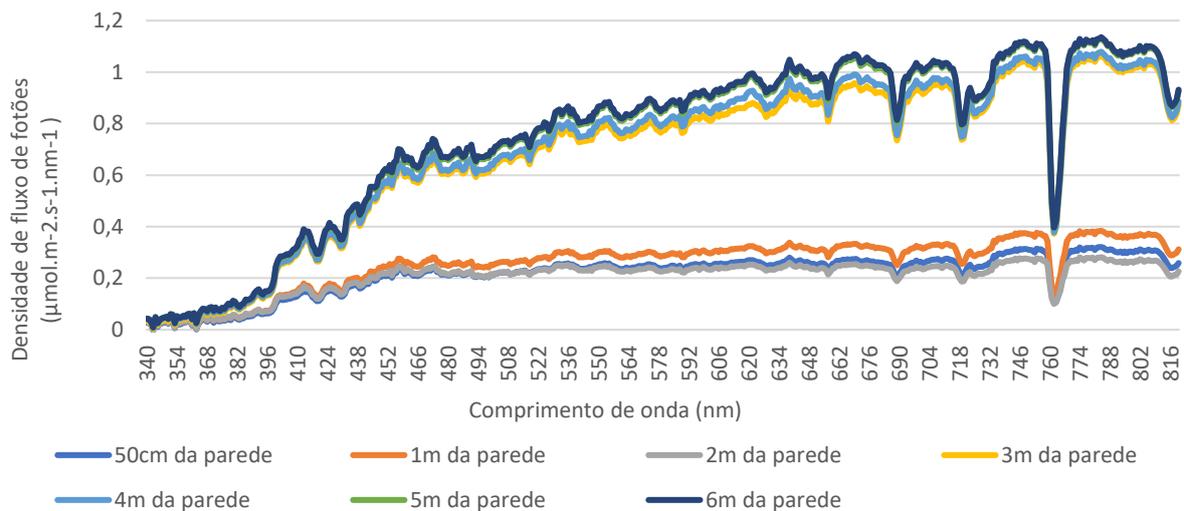


Figura 31: Densidade de fluxo de fótons da luz natural a diferentes distâncias da parede (50cm, 1m, 2m, 3m, 4m, 5m e 6m), no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, no Local 1.

Os dados obtidos, expressos na Figura 31, mostram tendência de aumento da intensidade luminosa (densidade de fluxo de fótons) com o aumento da distância à parede da estufa. Em pontos próximos à parede, a intensidade luminosa foi até 4 vezes menor do que em pontos mais afastados. Estes dados sugerem que a parede pode atuar como um impedimento para a incidência da luz nas plantas mais próximas desta. A Figura 32 comprova pequenas variações na intensidade luminosa, indicando uma distribuição relativamente uniforme da luz ao longo do comprimento do local.

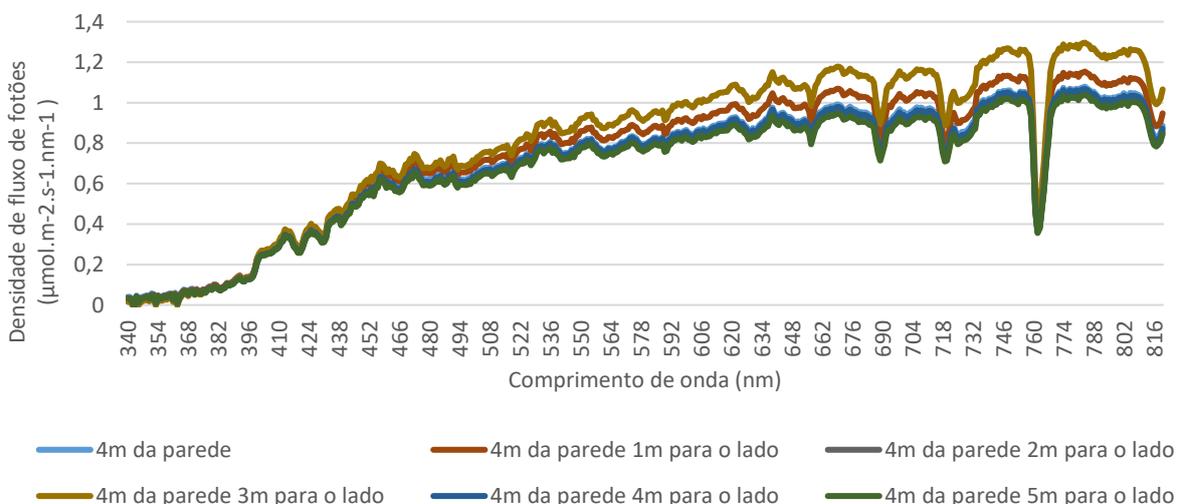


Figura 32: Densidade de fluxo de fótons da luz natural a 4m da parede, a diferentes distâncias ao longo da estufa (1m, 2m, 3m, 4m e 5m), no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, no Local 1.

De modo a avaliar o impacto do revestimento da estufa na difusão da luz, foi medido um ponto dentro da estufa em que a luz incidia diretamente, e comparado com um ponto de referência recolhido anteriormente (Figura 33).

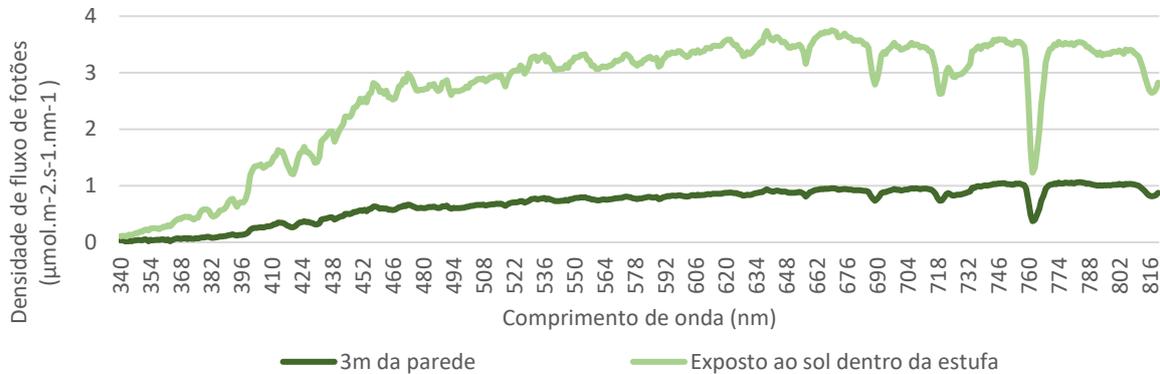


Figura 33: Variação da intensidade luminosa entre um ponto referência (3m da parede da estufa) e um ponto exposto diretamente ao sol, no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, no Local 1.

Os resultados sugerem que o revestimento tem um efeito significativo na distribuição da luz. As medições realizadas em áreas com e sem cobertura de plástico revelaram uma diferença notável na intensidade luminosa, sendo evidente que o revestimento influencia diretamente a difusão da luz solar no interior da estufa.

No Local 2, a análise focou-se na incidência vertical e horizontal das luzes no espectro do vermelho, com medições a 20 cm, 50 cm, 1 m, 2 m e 3 m de distância vertical da fonte de luz, e a 50 cm, 1 m e 2 m do centro de incidência no solo (Figura 34).

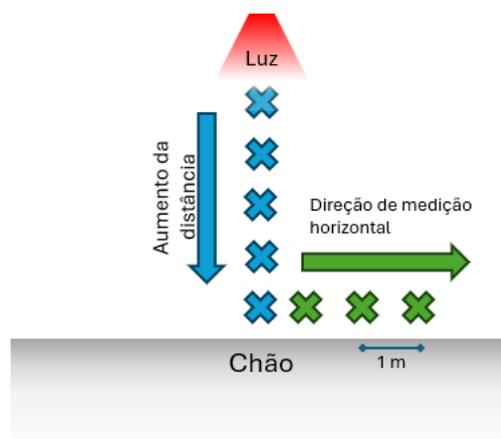


Figura 34: Pontos de medição no Local 2 em corte vertical.

Os dados apresentam uma variação marcada na distribuição vertical da luz, destacando uma diminuição acentuada na intensidade luminosa à medida que aumenta a distância vertical da fonte de luz (Figura 35). Esta observação sugere a importância de considerar cuidadosamente a distância para o ensaio entre a fonte de luz e as plantas, a fim de otimizar a obtenção e precisão dos resultados.

A distribuição horizontal da luz revelou que, à medida que a distância ao centro da incidência aumenta, os valores de intensidade luminosa diminuem.

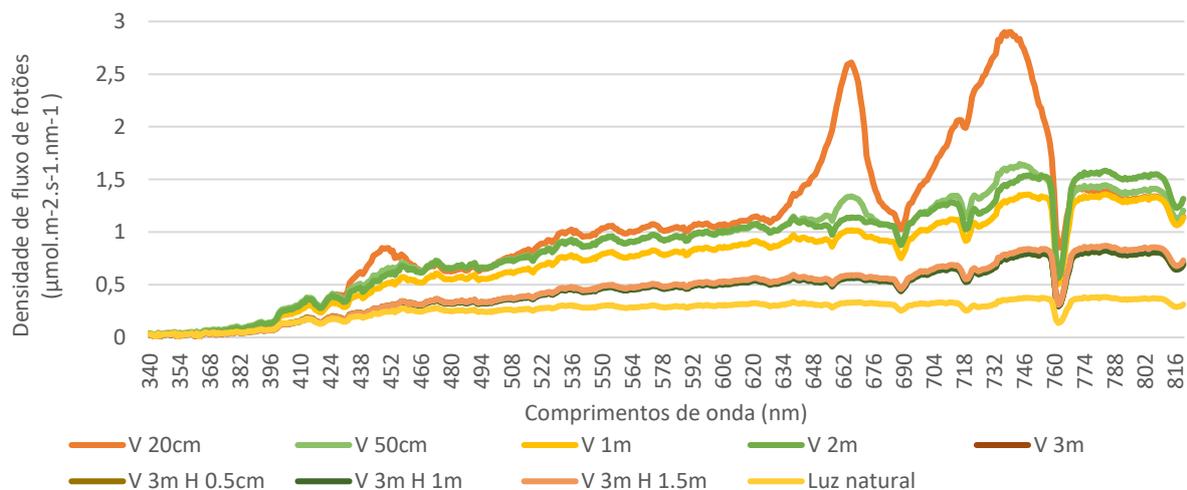


Figura 35: Densidade de fluxo de fótons a diferentes distâncias da fonte de luz vermelha (1m, 1,5m, 2m, 2,70m e no solo a 3,20m) e a diferentes distâncias horizontais do ponto de incidência no solo (1m, 2m e 3m) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, no Local 2. Sendo V a distância vertical à luz e H a distância horizontal ao ponto de incidência no solo.

No entanto, em comparação com uma zona sem a presença da fonte de luz V, os valores permanecem positivos. Isto sugere que, mesmo com uma diminuição na densidade de fluxo de fótons, a presença da luz V ainda contribui positivamente para o ambiente de cultivo nas maiores distâncias à fonte de luz.

Esta avaliação permitiu concluir que a disposição e a cobertura da estufa têm um impacto significativo na distribuição da luz, influenciando diretamente o desenvolvimento das plantas. Esta avaliação prévia permitiu compreender a PPFD similar em cada tipo de luz, tendo sido crucial para a instalação do setup para o ensaio principal.

No dia 25 de março, foi realizado um teste adicional, com medição da PPFD. Como resultado foi possível determinar a altura ideal para a realização do ensaio experimental, assegurando que os diferentes tratamentos recebessem iluminação adequada, comparável, justa e consistente promovendo um desenvolvimento equilibrado das plantas ao longo do

ensaio experimental. As medições foram realizadas com todas as fontes de luz ativadas, permitindo a escolha da altura logisticamente viável que apresentasse valores de PPFD semelhantes entre os tratamentos. Os dados estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Altura dos patamares com as plantas e respectivas intensidades luminosas para os diferentes tratamentos e tipos de luz.

Tratamento de luz	Altura (m)	PPFD ( $\mu\text{mol. s}^{-1}$ )
<b>REF</b>	0	65,64
<b>B</b>	1,70	65,50
<b>V</b>	1,70	80,37
<b>M</b>	0	96,08

Os gráficos das Figuras 36 a 39 mostram respectivamente a densidade de fluxo de fótons entre os tratamentos de luz REF/B, REF/V, REF/M e V/M, expressos em  $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{nm}^{-1}$ .

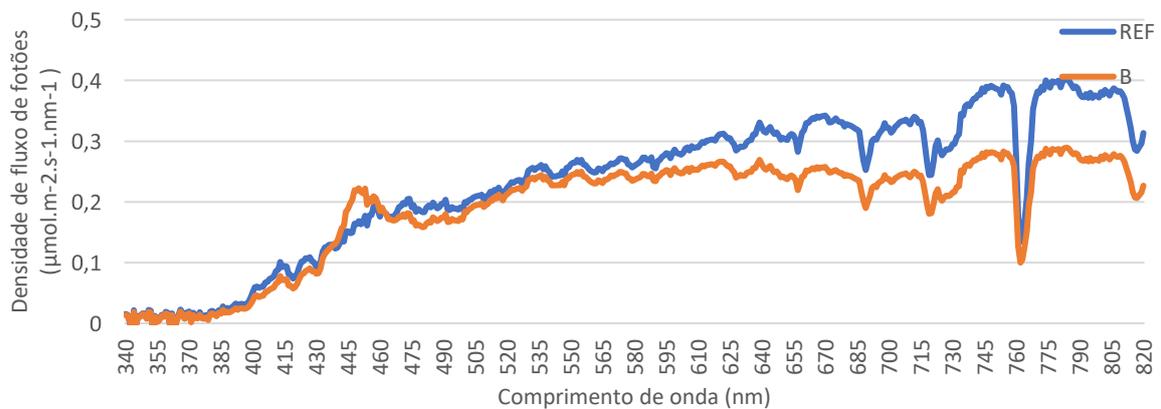


Figura 36: Comparação entre os PPFD dos tratamentos REF, medido ao nível do solo, e o B, à altura 1,70m (REF= sem iluminação artificial; B= Fitas de LED no espectro do branco) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, para definição da altura do patamar.

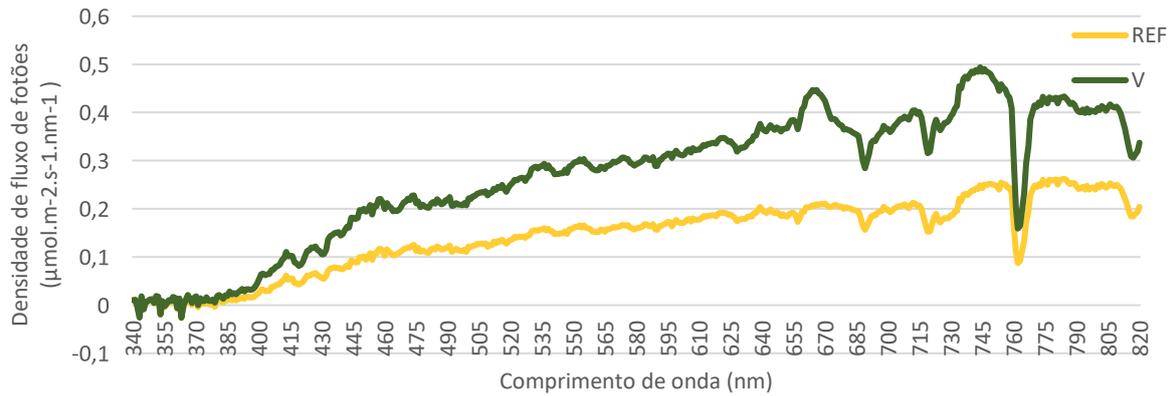


Figura 37: Comparação entre os PPFd dos tratamentos REF e o V, medidos à altura 1,70m (REF= sem iluminação artificial; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, para definição da altura do patamar.

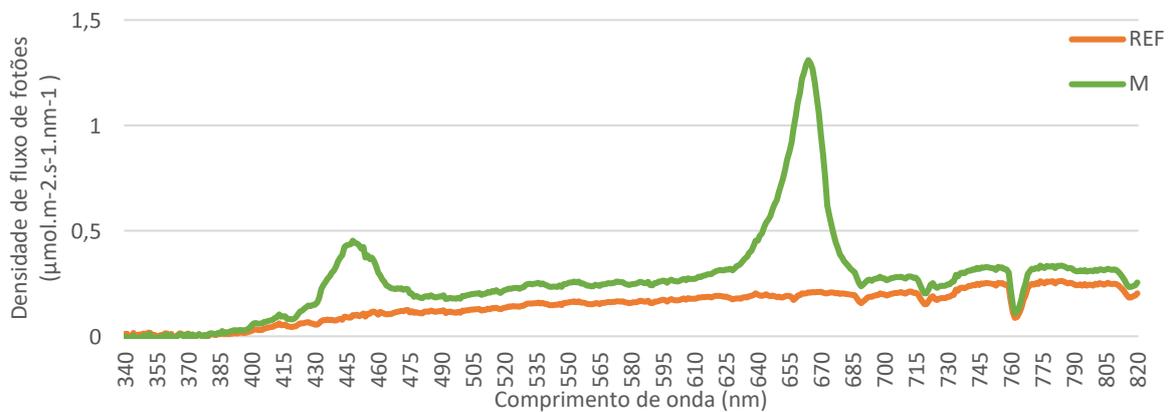


Figura 38: Comparação entre os PPFd dos tratamentos REF e o M, medidos ao nível do solo (REF= sem iluminação artificial; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, para definição da altura do patamar.

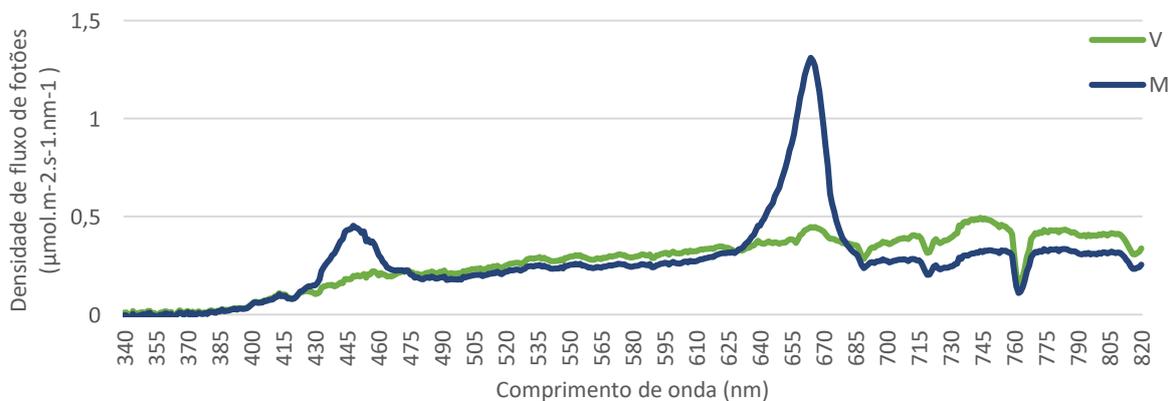


Figura 39: Comparação entre os PPFd dos tratamentos V, medido a 1,70m de altura, e o M, ao nível do solo (V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm, para definição da altura do patamar.

### 4.3. Caracterização dos tratamentos de iluminação utilizados

A caracterização detalhada das fontes de luz incluiu medições da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD), do fluxo de fótons fotossintéticos (PPF), da eficácia dos fótons fotossintéticos (PPE), do fluxo de fótons associado ao rendimento (YPF) e a relação vermelho/vermelho longínquo (R/FR), no decurso do ensaio.

No Quadro 4, encontram-se os valores obtidos para cada parâmetro avaliado. O valor mais elevado de PPF, que representa o total de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) emitida por segundo, foi observado nas lâmpadas vermelhas. Estes resultados são consistentes com a literatura que aponta a luz vermelha como altamente eficiente em promover processos fotossintéticos. Isto deve-se ao facto de a luz vermelha coincidir com o pico de absorção da clorofila *a* e *b*, os principais fotopigmentos envolvidos na fotossíntese, otimizando a captação de energia luminosa (Taiz et al., 2014)

Por outro lado, o menor valor de PPF foi registado para as lâmpadas mistas, sugerindo que a combinação de comprimentos de onda pode não ser tão eficiente na promoção da PAR, possivelmente devido à presença de luz azul.

Em relação ao YPF, que mede a eficácia da luz na promoção da fotossíntese considerando diferentes comprimentos de onda, as lâmpadas vermelhas apresentaram novamente o maior valor. Isso sugere que este tipo de iluminação é mais eficaz na promoção da fotossíntese. Por outro lado, as lâmpadas mistas tiveram o menor valor de YPF, indicando uma menor eficiência na promoção da fotossíntese.

O valor da PPE, que representa a eficiência dos fótons convertidos em energia para a fotossíntese, foi mais elevado para as lâmpadas mistas, enquanto as lâmpadas vermelhas apresentaram o menor valor de PPE. Este resultado pode ser atribuído à combinação equilibrada de comprimentos de onda, como o azul e o vermelho, que juntos proporcionam uma cobertura mais ampla do espectro fotossinteticamente ativo (PAR), otimizando a eficiência energética. Em contraste, as lâmpadas vermelhas apresentaram o menor valor de PPE, possivelmente devido à menor diversidade espectral, que limita a absorção eficiente de luz em todos os pigmentos fotossintéticos. A R/FR foi mais elevada nas lâmpadas mistas, indicando uma maior proporção de radiação vermelha comparativamente à radiação vermelho longínquo, o que pode influenciar o crescimento morfológico das plantas.

Quadro 4: Valores obtidos para PPF, YPF, PPE e R/FR com o espectrorradiômetro (desde os 340 aos 820 nm) para os diferentes tratamentos.

	<b>V</b>	<b>M</b>	<b>B</b>	<b>REF</b>
<b>Total integrado PPF</b> ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$ )	393,12	321,13	343,27	348,58
<b>PPF</b> ( $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ )	393,12	321,13	343,27	348,58
<b>YPF</b> ( $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ )	351,46	287,20	306,89	311,20
<b>PPE</b> ( $\mu\text{mol}\cdot\text{J}^{-1}$ )	0,7050	0,7278	0,7065	0,7054
<b>R/FR</b>	0,9738	1,2427	0,9823	0,9752

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

Ao analisar os gráficos da Figura 40, que mostram a intensidade luminosa expressa através da densidade de fluxo de fótons em função do comprimento de onda, é possível observar as diferenças significativas entre os tipos de iluminação representados pelas curvas (B, M, V e REF).

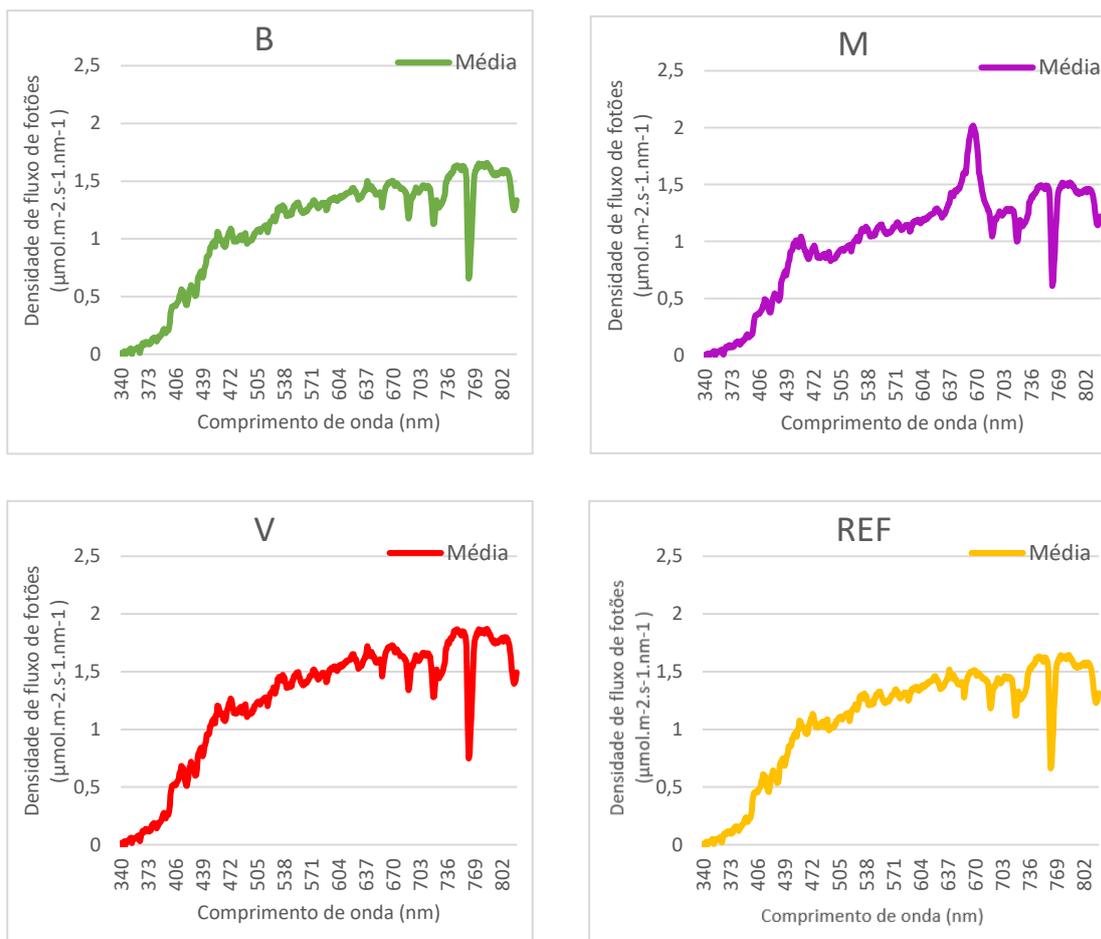


Figura 40: Densidade de fluxo de fótons fotossintéticos dos 4 tipos de iluminação (B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm.

A curva B (LED branco) revela distribuição uniforme dos fótons ao longo de todo o espectro visível, com picos suaves nas regiões de 450 nm (azul) e 650 nm (vermelho). Essa distribuição equilibrada é característica das luzes brancas, que emitem uma combinação de comprimentos de onda para simular a luz solar. A ausência de picos acentuados indica que a luz branca fornece uma iluminação adequada para diferentes fases do desenvolvimento das plantas, favorecendo tanto a fotossíntese quanto processos morfológicos essenciais. No entanto, o seu impacto específico em termos de eficiência fotossintética pode não ser tão elevado em comparação com luzes que emitem comprimentos de onda mais especializados.

A curva M (LED misto), com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho, exhibe picos pronunciados nas regiões de 450 nm (azul) e 660 nm (vermelho). Este comportamento espectral é típico de sistemas de iluminação otimizados para o cultivo de plantas, uma vez que a luz azul estimula o desenvolvimento morfológico, como a formação de folhas e raízes, enquanto a luz vermelha é fundamental para a maximização da

fotossíntese. A presença desses dois picos bem definidos sugere que este tipo de iluminação é particularmente adequado para equilibrar o crescimento vegetativo (devido ao azul) e a produção fotossintética (devido ao vermelho), o que pode ser benéfico em ambientes de cultivo controlado onde se visa um desenvolvimento equilibrado das plantas.

A curva V (LED vermelho) apresenta um pico intenso na zona dos 660 nm, na região do vermelho do espectro, correspondente ao comprimento de onda mais eficiente para a fotossíntese. Este tipo de iluminação é especialmente eficaz na promoção da absorção de energia pela clorofila. No entanto, a ausência de luz azul pode limitar o desenvolvimento de certos aspectos morfológicos das plantas, como o crescimento compacto e a regulação estomática, que dependem deste tipo deste comprimento de onda. Dessa forma, embora a luz vermelha seja extremamente eficiente para otimizar a fotossíntese, ela pode não ser suficiente para garantir um desenvolvimento equilibrado das plantas quando usada isoladamente.

Por fim, a curva REF (luz natural disponível na estufa) revela uma densidade de fluxo de fótons consideravelmente mais baixa em todos os comprimentos de onda analisados. Isso indica que, a distribuição menos uniforme dos fótons ao longo do espectro resultam em ineficiências de crescimento vegetal, indicando que a luz natural pode ser insuficiente para fornecer a quantidade necessária de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para o crescimento ideal das plantas. Esta observação justifica a necessidade de complementar a luz natural com fontes de iluminação artificial mais controladas e intensas, como as utilizadas neste estudo.

Através da análise da Figura 41, verifica-se diferenças entre cada tipo de iluminação.

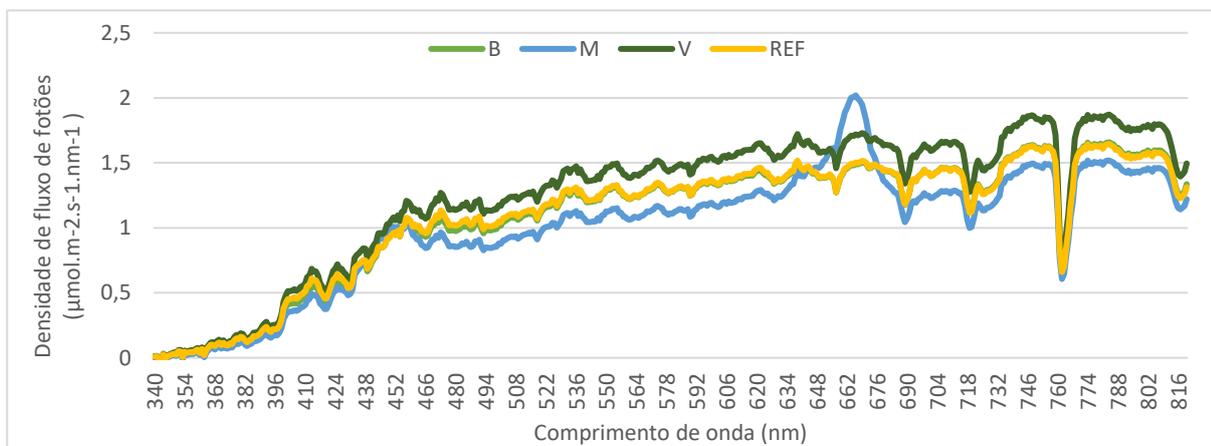


Figura 41: Gráficos sobrepostos da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos dos 4 tipos de iluminação ensaiados (B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial) no intervalo de comprimento de onda 340 aos 820 nm.

## 4.4. Medições biométricas e teor de clorofila

### 4.4.1. Altura das plantas

As plantas não apresentaram homogeneidade quanto à sua altura inicial, pelo que o tratamento estatístico para avaliar o crescimento foi feito, não em valores absolutos, mas em termos de acréscimos sobre o valor inicial (DIFALT).

O Quadro 5 resume os resultados da ANOVA e as médias de DIFALT para cada tratamento em cada bloco e semana.

*Quadro 5: Acréscimos nas alturas das plantas, ao longo das semanas, para os diferentes tratamentos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .*

Bloco	Semana	p-value	Tratamento	DIFALT (Média $\pm$ DP, cm)	Grupos (Tukey)
1	1	0,084	B	4,10 ( $\pm$ 0,71)	a
			V	2,74 ( $\pm$ 1,02)	
			REF	2,40 ( $\pm$ 1,70)	
			M	2,36 ( $\pm$ 1,05)	
	2	0,292	REF	5,56 ( $\pm$ 1,98)	a
			V	5,06 ( $\pm$ 0,74)	
			M	4,66 ( $\pm$ 1,23)	
			B	3,68 ( $\pm$ 1,84)	
	3	0,018	M	5,96 ( $\pm$ 1,57)	a
			REF	4,62 ( $\pm$ 0,63)	ab
			B	3,22 ( $\pm$ 2,48)	b
			V	2,36 ( $\pm$ 1,45)	
	4	$8,15 \times 10^{-3}$	M	5,58 ( $\pm$ 0,80)	a
			REF	5,52 ( $\pm$ 0,83)	ab
			V	3,06 ( $\pm$ 1,71)	
			B	2,74 ( $\pm$ 2,04)	b
	5	0,607	B	2,10 ( $\pm$ 1,75)	a
			REF	1,92 ( $\pm$ 1,58)	
			M	1,52 ( $\pm$ 1,49)	
			V	0,98 ( $\pm$ 0,29)	
	6	0,074	M	3,98 ( $\pm$ 1,80)	a
			REF	3,04 ( $\pm$ 1,42)	
			B	2,58 ( $\pm$ 1,40)	
			V	1,36 ( $\pm$ 1,11)	
	7	0,145	M	3,82 ( $\pm$ 2,91)	a
			V	1,72 ( $\pm$ 1,63)	
			REF	1,28 ( $\pm$ 0,96)	
			B	1,26 ( $\pm$ 1,50)	

<i>Bloco</i>	<i>Semana</i>	<i>p-value</i>	<i>Tratamento</i>	<i>DIFALT (Média ± DP, cm)</i>	<i>Grupos (Tukey)</i>
2	1	0,627	REF B V M	3,56 (± 0,69) 3,40 (± 0,66) 3,20 (± 0,59) 3,01 (± 0,79)	a
	2	0,180	V REF M B	5,76 (± 0,59) 4,78 (± 1,97) 4,51 (± 0,46) 3,76 (± 1,72)	a
	3	0,160	M B V REF	5,90 (± 1,49) 4,16 (± 1,51) 4,00 (± 1,44) 3,52 (± 2,11)	a
	4	0,881	B M V REF	5,20 (± 1,42) 4,94 (± 0,81) 4,80 (± 1,32) 4,44 (± 2,18)	a
	5	2,91×10 <sup>-4</sup>	M REF V B	3,34 (± 0,86) 2,78 (± 1,00) 1,02 (± 2,04) 0,86 (± 0,88)	a b
	6	0,390	M B REF V	3,94 (± 4,32) 3,24 (± 1,97) 2,74 (± 1,90) 1,14 (± 0,59)	a
	7	0,233	M B REF V	3,38 (± 2,05) 1,64 (± 1,23) 1,94 (± 0,85) 1,64 (± 0,94)	a

Bloco	Semana	p-value	Tratamento	DIFALT (Média ± DP, cm)	Grupos (Tukey)
3	1	0,015	V	3,30 (± 0,87)	a
			M	3,24 (± 0,91)	
			REF	2,46 (± 0,86)	
			B	1,62 (± 0,51)	
	2	0,630	M	4,72 (± 0,42)	a
			V	4,66 (± 1,12)	
			B	4,64 (± 1,46)	
			REF	3,90 (± 1,24)	
	3	0,229	REF	4,10 (± 1,27)	a
			M	3,96 (± 0,44)	
			B	3,38 (± 0,41)	
			V	2,92 (± 1,32)	
	4	0,015	M	5,24 (± 0,53)	a
			REF	2,90 (± 1,87)	
			V	2,60 (± 1,19)	
			B	1,80 (± 1,98)	
	5	0,632	REF	2,34 (± 0,61)	a
			V	2,04 (± 1,16)	
			M	1,90 (± 1,76)	
			B	1,30 (± 1,30)	
	6	0,281	B	3,32 (± 2,40)	a
			V	1,70 (± 1,55)	
			M	1,56 (± 1,90)	
			REF	1,32 (± 0,38)	
	7	0,658	V	3,90 (± 2,34)	a
			B	3,43 (± 2,39)	
			M	2,68 (± 1,49)	
			REF	2,44 (± 1,58)	

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

Os resultados indicam que o tratamento V demonstrou consistentemente uma maior eficácia no controlo da altura das plantas, limitando o crescimento vertical de forma significativa em comparação com os restantes tratamentos. O tratamento B também foi eficaz, especialmente no bloco 2, onde as plantas sob este mostraram entrenós mais compactos. Em comparação com os outros tratamentos (M e REF), tanto o tratamento V e tratamento B apresentaram melhores resultados no controlo do crescimento das plantas e na manutenção de um tamanho desejável.

Na Figura 42, observa-se que os tratamentos B e V resultaram em plantas mais compactas. Esta compactidade é particularmente relevante, uma vez que as alturas das plantas permaneceram dentro da especificação comercial de *Hydrangea florida*, cujo limite máximo é de 50 cm. Os tratamentos com V e B mostraram-se eficazes em manter as plantas

dentro desses parâmetros, garantindo que estariam aptas para a venda comercial, atendendo às exigências do mercado para este tipo de planta ornamental.

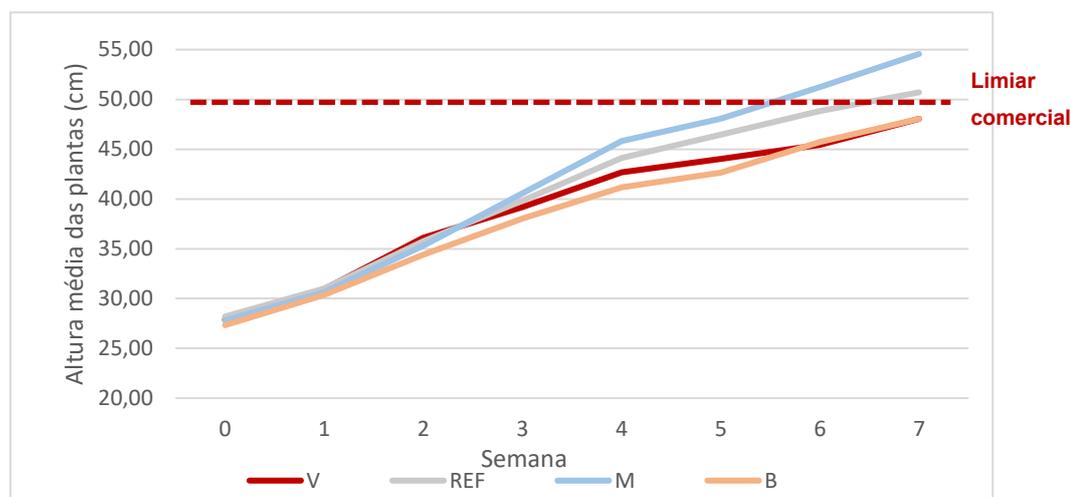


Figura 42: Evolução das médias de alturas de cada tratamento, ao longo das semanas. Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

Apesar de haver algum efeito de blocos, procurou-se ver o efeito global do tratamento, tendo-se verificado uma maior compacidade nos tratamentos V e B, consideravelmente mais baixo que o tratamento M (Quadro 6).

Quadro 6: Altura média das plantas, na semana 7, por tratamentos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

Semana	p-value	Tratamento	Altura (Média $\pm$ DP, cm)	Grupos (Tukey)
7	$3,77 \times 10^{-5}$	M	54,57 ( $\pm$ 4,32)	a
		REF	50,71 ( $\pm$ 3,04)	
		B	48,06 ( $\pm$ 3,84)	b
		V	48,05 ( $\pm$ 3,77)	

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

#### 4.4.2. Teor em clorofila das folhas

A análise dos teores de clorofila ao longo das sete semanas de ensaio revelou variações significativas entre os diferentes tratamentos de luz nos três blocos. O Quadro 7 mostra os principais resultados por bloco e semana.

*Quadro 7: Teor de clorofila (unidades Hansatech) das folhas das plantas, ao longo das semanas, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .*

Bloco	Semana	p-value	Tratamento	Teor de Clorofila (Média $\pm$ DP)	Grupos (Tukey)
1	1	$2,37 \times 10^{-5}$	M	16,20 ( $\pm$ 5,56)	a
			V	16,02 ( $\pm$ 5,43)	
			B	14,87 ( $\pm$ 4,31)	
			REF	10,71 ( $\pm$ 3,09)	
	2	$4,88 \times 10^{-3}$	M	17,74 ( $\pm$ 5,29)	a
			V	15,93 ( $\pm$ 3,99)	ab
			B	14,57 ( $\pm$ 4,68)	b
			REF	13,79 ( $\pm$ 3,71)	
	3	$2,8 \times 10^{-2}$	V	11,71 ( $\pm$ 2,96)	a
			M	11,09 ( $\pm$ 3,21)	ab
			B	10,36 ( $\pm$ 3,01)	
			REF	9,54 ( $\pm$ 2,34)	b
	4	$7,08 \times 10^{-3}$	V	14,76 ( $\pm$ 3,44)	a
			REF	13,90 ( $\pm$ 3,52)	ab
			M	13,06 ( $\pm$ 2,94)	
			B	11,81 ( $\pm$ 3,49)	b
	5	$7,25 \times 10^{-4}$	V	19,70 ( $\pm$ 4,38)	a
			B	19,60 ( $\pm$ 5,62)	
			M	16,69 ( $\pm$ 3,75)	ab
			REF	15,68 ( $\pm$ 4,21)	b
	6	0,877	M	22,22 ( $\pm$ 4,31)	a
			REF	21,79 ( $\pm$ 4,15)	
			B	21,67 ( $\pm$ 6,59)	
			V	21,10 ( $\pm$ 5,68)	
	7	$1,08 \times 10^{-8}$	V	29,90 ( $\pm$ 8,53)	a
			REF	25,44 ( $\pm$ 8,80)	
			B	19,27 ( $\pm$ 6,76)	b
			M	18,34 ( $\pm$ 5,36)	

<i>Bloco</i>	<i>Semana</i>	<i>p-value</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Teor de Clorofila (Média ± DP)</i>	<i>Grupos (Tukey)</i>
2	1	$7,27 \times 10^{-5}$	B	16,84 (± 4,58)	a
			V	15,10 (± 5,67)	ab
			REF	12,85 (± 3,77)	bc
			M	11,96 (± 2,52)	c
	2	$5,82 \times 10^{-3}$	V	17,33 (± 4,46)	a
			M	15,88 (± 3,04)	ab
			REF	15,07 (± 4,26)	
			B	13,63 (± 4,23)	b
	3	0,400	V	10,49 (± 2,49)	a
			REF	10,43 (± 2,50)	
			B	10,15 (± 3,66)	
			M	9,42 (± 1,91)	
	4	0,807	REF	15,39 (± 4,55)	a
			M	15,02 (± 4,46)	
			V	14,71 (± 4,24)	
			B	14,27 (± 4,98)	
	5	0,489	V	18,26 (± 4,83)	a
			B	17,58 (± 4,92)	
			M	17,14 (± 4,47)	
			REF	16,44 (± 4,37)	
	6	0,360	M	23,06 (± 4,48)	a
V			22,94 (± 4,64)		
B			22,38 (± 6,02)		
REF			21,04 (± 4,13)		
7	0,137	V	32,00 (± 5,35)	a	
		M	30,62 (± 5,64)		
		B	29,51 (± 7,99)		
		REF	28,37 (± 5,37)		

<b>Bloco</b>	<b>Semana</b>	<b>p-value</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Teor de Clorofila (Média ± DP)</b>	<b>Grupos (Tukey)</b>	
3	1	0,078	M	17,65 (±6,86)	a	
			V	16,10 (± 5,22)		
			B	15,21 (±5,19)		
			REF	14,08 (± 3,86)		
	2	$2,76 \times 10^{-7}$	V	19,02 (±3,58)	a	
			M	18,55 (± 3,45)	b	
			B	14,30 (± 4,22)		
			REF	13,64 (± 3,52)		
	3	$9,38 \times 10^{-3}$	REF	11,22 (± 2,99)		a
			B	9,52 (± 3,26)	ab	
			V	9,33 (± 2,84)		
			M	8,69 (± 2,72)		
	4	$1,97 \times 10^{-4}$	V	17,48 (± 4,98)		a
			M	14,80 (± 2,84)	ab	
			REF	14,80 (± 4,04)		
			B	12,41 (± 4,80)		
	5	$8,22 \times 10^{-7}$	V	19,22 (± 4,57)		a
			M	16,28 (± 3,68)	b	
			REF	14,08 (± 3,72)	bc	
			B	13,32 (± 4,76)	c	
	6	$1,45 \times 10^{-4}$	V	26,08 (± 4,76)	a	
			REF	22,67 (± 5,11)	ab	
			M	21,94 (± 7,31)	b	
			B	19,03 (± 5,80)		
	7	$6,41 \times 10^{-5}$	V	32,87 (± 4,92)		a
			M	28,04 (± 6,15)		b
			REF	26,59 (± 5,98)		
			B	25,65 (± 7,09)		

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

A análise de variância mostrou diferenças significativas entre os tratamentos na semana 1 do bloco 1 ( $p < 0,05$ ). O teste de Tukey indicou que o tratamento REF apresentou níveis de clorofila significativamente menores em comparação com os tratamentos M, V, e B, que não diferiram significativamente entre si.

A análise dos dados revelou que o tratamento V teve um impacto significativo na quantidade de clorofila presente nas folhas das plantas. A luz do espectro no vermelho, especialmente em comprimentos de onda de 660 nm, é altamente eficiente na estimulação da produção de clorofila devido à sua proximidade com o pico de absorção dos pigmentos clorofílicos (Rajapakse et al, 1993). A clorofila, sendo o principal pigmento fotossintético, desempenha um papel essencial na captura de luz e na conversão de energia luminosa em energia química durante a fotossíntese (Muneer et al, 2014).

Como resultado, as plantas submetidas ao tratamento V apresentaram um aumento na produção de clorofila, o que se traduz numa maior capacidade de captura de luz e uma fotossíntese mais eficiente. Este aumento na produção de clorofila é crucial para a otimização do crescimento vegetal, aumentando a capacidade da planta gerar energia e acumular biomassa. Em termos médios, o teor de clorofila do tratamento V revelou-se estatisticamente superior em comparação com os demais (Quadro 8).

*Quadro 8: Teor de clorofila média das plantas, na semana 7, por tratamentos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .*

<b>Semana</b>	<b>p-value</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Teor de Clorofila (Média <math>\pm</math> DP)</b>	<b>Grupos (Tukey)</b>
<b>7</b>	$3,32 \times 10^{-9}$	V	31,59 ( $\pm$ 6,52)	a
		REF	26,80 ( $\pm$ 6,91)	b
		M	25,50 ( $\pm$ 7,84)	
		B	24,75 ( $\pm$ 8,45)	

*Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.*

### 4.4.3. Espessura das folhas

A espessura das folhas foi avaliada a partir da 4ª semana, quando estas estavam totalmente estruturadas, em todos os blocos experimentais. Os principais resultados são expressos no Quadro 9.

*Quadro 9: Espessura das folhas das plantas, ao longo das semanas, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .*

<b>Bloco</b>	<b>Semana</b>	<b>p-value</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Espessura das folhas (Média <math>\pm</math> DP, mm)</b>	<b>Grupos (Tukey)</b>
1	4	0,168	V	0,401 ( $\pm$ 0,091)	a
			M	0,387 ( $\pm$ 0,058)	
			B	0,361 ( $\pm$ 0,115)	
			REF	0,346 ( $\pm$ 0,060)	
	5	$1,25 \times 10^{-3}$	V	0,467 ( $\pm$ 0,078)	a
			M	0,465 ( $\pm$ 0,054)	
			B	0,452 ( $\pm$ 0,089)	b
			REF	0,377 ( $\pm$ 0,091)	
	6	0,016	REF	0,571 ( $\pm$ 0,088)	a
			M	0,548 ( $\pm$ 0,055)	ab
			B	0,503 ( $\pm$ 0,094)	
			V	0,489 ( $\pm$ 0,109)	b
	7	0,518	M	0,536 ( $\pm$ 0,096)	a
REF			0,529 ( $\pm$ 0,046)		
B			0,515 ( $\pm$ 0,082)		
V			0,512 ( $\pm$ 0,077)		

<i>Bloco</i>	<i>Semana</i>	<i>p-value</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Espessura das folhas (Média ± DP, mm)</i>	<i>Grupos (Tukey)</i>	
2	4	$1,27 \times 10^{-5}$	V	0,419 (± 0,093)	a	
			M	0,399 (± 0,078)		
			B	0,379 (± 0,086)		
			REF	0,292 (± 0,056)		b
	5	$3,87 \times 10^{-15}$	B	0,621 (± 0,062)	a	
			V	0,597 (± 0,046)		
			REF	0,504 (± 0,056)		b
			M	0,459 (± 0,057)		
	6	$3,72 \times 10^{-6}$	V	0,541 (± 0,063)	a	
			M	0,522 (± 0,051)	ab	
			B	0,473 (± 0,052)	bc	
			REF	0,444 (± 0,052)	c	
	7	0,022	V	0,543 (± 0,062)	a	
			B	0,505 (± 0,050)	ab	
			M	0,503 (± 0,047)		
			REF	0,498 (± 0,039)	b	

Bloco	Semana	p-value	Tratamento	Espessura das folhas (Média ± DP, mm)	Grupos (Tukey)
3	4	$5,22 \times 10^{-15}$	V	0,494 (± 0,083)	a
			M	0,466 (± 0,051)	
			B	0,373 (± 0,085)	
			REF	0,287 (± 0,046)	
	5	0,078	REF	0,499 (± 0,073)	a
			M	0,477 (± 0,070)	ab
			V	0,471 (± 0,085)	
			B	0,439 (± 0,064)	b
	6	$1,15 \times 10^{-5}$	M	0,507 (± 0,809)	a
			V	0,485 (± 0,044)	ab
			B	0,435 (± 0,085)	bc
			REF	0,404 (± 0,042)	c
	7	$7,28 \times 10^{-3}$	V	0,529 (± 0,041)	a
			M	0,475 (± 0,059)	ab
			REF	0,467 (± 0,065)	b
			B	0,461 (± 0,092)	

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

Os resultados indicam que os tratamentos aplicados influenciaram a espessura das folhas ao longo das diferentes semanas, nos blocos 2 e 3. Nestes últimos, o tratamento V resultou em aumento até 0,068 mm de espessura das folhas na 7ª semana em relação aos restantes tratamentos.

O aumento na espessura das folhas pode ser atribuído a maior produção de clorofila, que pode levar a uma maior captura de luz e, conseqüentemente, a um aumento na produção de açúcares e outros metabolitos essenciais ao crescimento. Esse aumento na disponibilidade de recursos energéticos pode ter favorecido a expansão celular e a divisão celular, resultando em folhas mais espessas. Folhas mais espessas são vantajosas para plantas expostas à luz vermelha, como têm mais cloroplastos, maximizam a absorção de luz e a fotossíntese (Brazaityte et al., 2006; Shin et al., 2008).

Em contraste, os restantes tratamentos resultaram numa menor espessura foliar o que pode indicar uma menor eficiência na captação e utilização da luz natural, refletindo-se numa menor produção de clorofila e, portanto, num crescimento celular menos robusto. Folhas mais finas, associadas a menores teores de clorofila, podem indicar uma adaptação a condições menos favoráveis para a fotossíntese ou um menor estímulo para o crescimento foliar.

Em termos médios, a espessura das folhas do tratamento V revelou-se superior em comparação com os restantes, apesar de não haver diferenças significativas (Quadro 10).

*Quadro 10: Espessura das folhas média das plantas, na semana 7, por tratamentos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .*

<b>Semana</b>	<b>p-value</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Espessura das folhas (Média <math>\pm</math> DP, mm)</b>	<b>Grupos (Tukey)</b>
<b>7</b>	0,090	V	0,524 ( $\pm$ 0,063)	a
		M	0,506 ( $\pm$ 0,074)	
		REF	0,498 ( $\pm$ 0,056)	
		B	0,496 ( $\pm$ 0,077)	

*Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.*

## 4.5. Análises pós-colheita

### 4.5.1 Porómetria e fluorescência da clorofila

#### i. Fluorescência

A fluorescência da clorofila é um indicador importante da eficiência fotossintética das plantas, refletindo a capacidade de conversão de energia luminosa em energia química. A fluorescência foi medida com o porómetro, logo após ensaio de iluminação artificial. Os resultados estão expressos no Quadro 11.

*Quadro 11: Fluorescência das folhas das plantas, medida através do porómetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .*

Bloco	p-value	Tratamento	F (Média $\pm$ DP)	Grupos (Tukey)
1	0,745	M	97,42 ( $\pm$ 11,18)	a
		B	95,26 ( $\pm$ 8,30)	
		V	93,92 ( $\pm$ 7,22)	
		REF	93,89 ( $\pm$ 4,62)	
2	0,073		94,88 ( $\pm$ 5,81)	a
			93,67 ( $\pm$ 4,86)	
			92,32 ( $\pm$ 2,80)	
			89,04 ( $\pm$ 5,95)	
3	0,050	REF	95,28 ( $\pm$ 3,22)	a
		V	92,90 ( $\pm$ 4,01)	
		M	91,94 ( $\pm$ 5,19)	
		B	89,62 ( $\pm$ 1,62)	

*Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.*

Não foram observadas diferenças significativas na fluorescência (F) entre os diferentes tratamentos de luz nos três blocos ( $p > 0,05$ ). Este resultado sugere que nenhum dos tratamentos aplicados foi suficientemente agressivo para causar stress fotossintético nas plantas. A fluorescência da clorofila é uma medida direta da eficiência da fotossíntese, e a ausência de variações significativas indica que as plantas foram capazes de manter a sua capacidade fotossintética em níveis semelhantes, independentemente do tratamento.

O stress fotossintético normalmente leva a uma redução na eficiência da captura de luz, o que poderia ser evidenciado por um aumento na fluorescência devido à acumulação de

energia não utilizada. Como não houve este aumento, pode-se inferir que as plantas se mantiveram saudáveis e funcionais em termos fotossintéticos.

## ii. Condutância estomática

A condutância estomática (gsw), expresso em  $mol.m^{-2}.s^{-1}$ , mede a taxa de troca gasosa através dos estomas das folhas, sendo um indicador crucial da capacidade da planta para regular as trocas gasosas, incluindo a captação de dióxido de carbono para a fotossíntese e a perda de água através da transpiração. A condutância estomática foi medida com o porómetro, logo após a colheita das plantas, após o ensaio de iluminação. Os resultados estão expressos no Quadro 12.

Quadro 12: Condutância estomática das folhas das plantas, medida através do porómetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

Bloco	p-value	Tratamento	gsw (Média $\pm$ DP, $mol.m^{-2}s^{-1}$ )	Grupos (Tukey)
	0,265	B	0,105 ( $\pm$ 0,067)	a
		M	0,082 ( $\pm$ 0,080)	
		REF	0,063 ( $\pm$ 0,028)	
		V	0,057 ( $\pm$ 0,042)	
2	0,494	B	0,110 ( $\pm$ 0,081)	a
		M	0,102 ( $\pm$ 0,088)	
		V	0,089 ( $\pm$ 0,076)	
		REF	0,062 ( $\pm$ 0,041)	
3	0,025	V	0,169 ( $\pm$ 0,091)	a
		M	0,125 ( $\pm$ 0,088)	ab
		REF	0,112 ( $\pm$ 0,075)	
		B	0,037 ( $\pm$ 0,039)	c

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

Observou-se uma diferença significativa no bloco 3. O tratamento V apresentou a maior condutância estomática, seguido por M e REF, com o tratamento B a apresentar o valor mais baixo. A maior condutância no tratamento V pode indicar que a luz vermelha estimulou aumento na abertura dos estomas, permitindo maior entrada de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese e, assim, otimizar o seu potencial fotossintético.

Em contraste, o tratamento B resultou na menor condutância estomática, o que pode refletir uma resposta adaptativa para minimizar a perda de água, possivelmente devido à natureza mais difusa do espectro de luz branca em comparação com os comprimentos de onda específicos da luz vermelha. A diferença significativa observada no bloco 3 pode ser atribuída a variações nas condições ambientais ou à maior sensibilidade das plantas neste estágio do crescimento. Estes resultados sugerem que a luz vermelha proporcionou melhor regulação estomática e, potencialmente, maior eficiência fotossintética.

Nos restantes blocos, não se notaram diferenças significativas neste parâmetro.

#### **4.5.2 Colorímetro**

O colorímetro foi utilizado para medir três características principais: saturação, tonalidade (*hue angle*) e luminosidade. Estes parâmetros são importantes para determinar as características visuais das folhas, as quais podem refletir alterações fisiológicas resultantes dos diferentes tratamentos de luz.

##### **i. Saturação (*Chroma, C\**)**

A saturação mede a intensidade da cor nas folhas. Valores mais altos indicam um verde mais intenso, associado a uma maior concentração de clorofila. A clorofila é crucial para a fotossíntese, e mais clorofila pode significar uma maior capacidade metabólica e maior produção de assimilados. Os resultados estão expressos no Quadro 13.

Quadro 13: Saturação da cor das folhas, medida através do colorímetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

Bloco	p-value	Tratamento	Saturação (Média $\pm$ DP)	Grupos (Tukey)
1	$1,97 \times 10^{-8}$	B	20,22 ( $\pm$ 2,73)	a
		V	18,26 ( $\pm$ 2,13)	b
		REF	16,01 ( $\pm$ 2,15)	c
		M	15,82 ( $\pm$ 2,04)	
2	0,448	B	17,37 ( $\pm$ 2,11)	a
		REF	16,84 ( $\pm$ 2,32)	
		V	16,35 ( $\pm$ 2,64)	
		M	16,35 ( $\pm$ 2,14)	
3	0,082	REF	18,37 ( $\pm$ 2,49)	a
		B	17,38 ( $\pm$ 1,49)	
		V	17,04 ( $\pm$ 2,15)	
		M	16,48 ( $\pm$ 2,37)	

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

Os resultados obtidos para a saturação das folhas indicam que o tratamento B apresentou os valores mais elevados no bloco 1, sendo significativamente superior aos restantes. Este aumento de saturação reflete uma coloração verde mais intensa e viva nas folhas, sugerindo uma maior concentração de pigmentos fotossintéticos, como a clorofila. A maior presença de clorofila está associada a uma maior eficiência no metabolismo das plantas, resultando numa maior produção de assimilados, o que é benéfico para o crescimento e desenvolvimento das folhas.

A maior saturação encontrada no tratamento B pode ser explicada pela capacidade da luz no espectro do branco em promover uma coloração verde intensa nas folhas oferecendo condições ideais para a produção de pigmentos fotossintéticos, como a clorofila, o que resulta numa cor mais viva. O tratamento V também apresentou uma coloração verde significativa, sugerindo que a luz vermelha, embora menos eficaz que a branca, também favoreceu a síntese de pigmentos fotossintéticos.

Em contraste, os tratamentos REF e M apresentaram saturações significativamente mais baixas, indicando uma cor verde menos intensa e possivelmente uma menor produção de clorofila ou outros pigmentos, o que se reflete na aparência visual das folhas.

Nos blocos 2 e 3, não foram encontradas diferenças significativas.

ii. Tonalidade (*Hue Angle, h\**)

O ângulo de matiz (*hue angle*) indica a tonalidade da cor, especialmente útil para analisar variações na tonalidade verde das folhas. Valores mais altos refletem um verde mais amarelado, enquanto valores mais baixos indicam um verde mais escuro, sugerindo uma maior concentração de clorofila, pigmento essencial na fotossíntese. Os resultados estão expressos no Quadro 14.

Quadro 14: Tonalidade da cor das folhas, medida através do colorímetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

Bloco	p-value	Tratamento	Ângulo de Matiz (Média $\pm$ DP, °)	Grupos (Tukey)
1	$5,21 \times 10^{-7}$	M	129,67 ( $\pm$ 1,25)	a
		REF	129,19 ( $\pm$ 1,67)	
		V	127,45 ( $\pm$ 1,76)	b
		B	126,50 ( $\pm$ 2,43)	
2	0,051	M	129,15 ( $\pm$ 1,13)	a
		V	128,74 ( $\pm$ 1,66)	ab
		REF	128,74 ( $\pm$ 1,51)	
		B	127,89 ( $\pm$ 1,42)	b
3	0,044	M	129,71 ( $\pm$ 0,66)	a
		REF	129,06 ( $\pm$ 1,24)	
		V	128,83 ( $\pm$ 1,15)	
		B	128,76 ( $\pm$ 0,67)	

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

No bloco 1, os tratamentos M e REF apresentaram ângulos de matiz ligeiramente mais elevados, indicando um tom de verde mais amarelado em comparação com os tratamentos V e B, que mostraram ângulos mais baixos, sugerindo um verde mais intenso e menos amarelado.

No bloco 2, observou-se uma tendência semelhante, embora menos pronunciada, com o tratamento M e REF a continuarem a exibir valores mais elevados de ângulo de matiz. No bloco 3, não foram notadas diferenças significativas na tonalidade das folhas independentemente do tratamento aplicado.

### iii. Luminosidade ( $L^*$ )

A luminosidade indica quão clara ou escura é a coloração das folhas. Valores mais altos representam folhas mais claras, enquanto valores mais baixos indicam uma cor mais escura, possivelmente refletindo maior clorofila. Os resultados estão expressos no Quadro 15.

*Quadro 15: Luminosidade da cor das folhas, medida através do colorímetro, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .*

<b>Bloco</b>	<b>p-value</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Luminosidade (Média <math>\pm</math> DP, %)</b>	<b>Grupos (Tukey)</b>
1	$1,16 \times 10^{-8}$	B	37,12 ( $\pm$ 2,61)	a
		V	36,32 ( $\pm$ 1,70)	
		REF	33,52 ( $\pm$ 1,90)	b
		M	33,51 ( $\pm$ 1,74)	
2	$2,88 \times 10^{-5}$	B	36,06 ( $\pm$ 1,51)	a
		V	34,29 ( $\pm$ 2,05)	b
		REF	34,29 ( $\pm$ 2,05)	
		M	33,55 ( $\pm$ 1,48)	
3	$9,69 \times 10^{-5}$	V	35,68 ( $\pm$ 1,72)	a
		B	34,97 ( $\pm$ 1,10)	ab
		REF	34,22 ( $\pm$ 1,19)	bc
		M	33,57 ( $\pm$ 1,10)	c

*Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.*

No bloco 1, o tratamento B apresentou a maior luminosidade, seguido pelo tratamento V, enquanto REF e M mostraram valores significativamente mais baixos. O tratamento com luz branca (B) promoveu folhas com maior brilho, indicando uma cor mais clara e intensa,

A luz branca contém uma combinação de comprimentos de onda que pode promover uma melhor coloração das folhas, refletida por uma maior luminosidade. A luz vermelha (V), embora também tenha promovido um brilho elevado, não foi tão eficaz quanto a luz branca. Já os tratamentos REF e M apresentaram menor brilho, sugerindo uma coloração mais escura ou menos intensa.

No bloco 2, o tratamento B continuou a apresentar os maiores valores de luminosidade, enquanto os tratamentos V, REF e M apresentaram valores mais baixos. No

bloco 3, o tratamento V teve a maior luminosidade, seguido por B, enquanto REF e M mantiveram os menores valores, indicando uma cor menos vibrante.

### 4.5.3 Área foliar unitária

A área foliar é um parâmetro fundamental para avaliar o crescimento das plantas, uma vez que influencia diretamente a capacidade de fotossíntese, captação de luz e troca gasosa.

Os diferentes tratamentos de luz aplicados afetaram de maneira variável a área foliar das plantas. Os resultados estão expressos no Quadro 16.

Quadro 16: Área foliar unitária, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

Bloco	p-value	Tratamento	Área foliar unitária (Média $\pm$ DP, cm <sup>2</sup> )	Grupos (Tukey)
1	0,033	M	85,50 ( $\pm$ 19,75)	a
		REF	70,57 ( $\pm$ 21,23)	ab
		V	68,34 ( $\pm$ 20,31)	
		B	44,49 ( $\pm$ 17,05)	b
2	0,074	M	72,63 ( $\pm$ 20,31)	a
		V	61,78 ( $\pm$ 4,21)	ab
		B	59,86 ( $\pm$ 12,50)	
		REF	48,58 ( $\pm$ 10,42)	b
3	0,118	M	74,05 ( $\pm$ 12,81)	a
		V	60,97 ( $\pm$ 6,78)	
		B	57,98 ( $\pm$ 15,01)	
		REF	48,97 ( $\pm$ 18,40)	

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

Os resultados indicam tendência consistente do tratamento M em promover o maior crescimento foliar em comparação aos outros tratamentos, especialmente nos blocos 1 e 2. Essa resposta pode ser atribuída à capacidade da luz mista de fornecer um espectro equilibrado de comprimentos de onda, promovendo tanto a produção de clorofila quanto o desenvolvimento celular, o que leva à expansão foliar. A combinação de luzes pode ter

otimizado a absorção luminosa, melhorando a eficiência da fotossíntese e resultando em folhas maiores.

Por outro lado, os tratamentos V, B e REF apresentaram maior variabilidade na área foliar entre os blocos, sugerindo que a resposta das plantas a essas condições de luz é mais sensível a fatores como o estágio de desenvolvimento ou o ambiente. O tratamento B, em particular, resultou consistentemente em áreas foliares menores, o que pode indicar uma menor eficácia em estimular a expansão das folhas quando comparado à luz mista.

Embora o tratamento M tenha promovido maior crescimento foliar, o tamanho ideal das folhas deve ser equilibrado. Folhas muito grandes podem aumentar a transpiração e o consumo de água, enquanto folhas muito pequenas podem limitar a capacidade fotossintética. Nesse contexto, o grupo ab, que representa tamanhos foliares intermediários, parece ser a escolha mais adequada, proporcionando um equilíbrio entre eficiência fisiológica e sustentabilidade no crescimento das plantas (e também a nível estético).

#### **4.5.4 Peso fresco e peso seco**

A razão entre o peso seco (DW) e o peso fresco (FW) das plantas foi avaliada como indicador da retenção de água nos tecidos vegetais e eficiência na conversão de biomassa fresca em matéria seca. Este parâmetro pode indicar a eficiência das plantas na utilização de água, bem como o nível de stress hídrico sofrido, uma vez que uma maior proporção de peso seco em relação ao peso fresco pode refletir uma maior eficiência no uso da água ou perda de água devido a condições adversas.

Embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas nos tratamentos de luz aplicados ( $p > 0,05$  em todos os blocos), a análise de Tukey foi realizada para investigar tendências nos valores de DW/FW. Os resultados estão expressos no Quadro 17.

Quadro 17: Razão entre o peso seco e peso fresco das plantas, para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

Bloco	p-value	Tratamento	DW/FW (Média $\pm$ DP)	Grupos (Tukey)
1	0,958	V	0,132 ( $\pm$ 0,016)	a
		REF	0,130 ( $\pm$ 0,006)	
		M	0,124 ( $\pm$ 0,008)	
		B	0,123 ( $\pm$ 0,061)	
2	0,120	B	0,138 ( $\pm$ 0,006)	a
		M	0,129 ( $\pm$ 0,011)	
		REF	0,127 ( $\pm$ 0,005)	
		V	0,125 ( $\pm$ 0,011)	
3	0,730	V	0,129 ( $\pm$ 0,005)	a
		REF	0,121 ( $\pm$ 0,013)	
		M	0,120 ( $\pm$ 0,040)	
		B	0,116 ( $\pm$ 0,013)	

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

Os resultados mostram que não houve diferenças significativas entre os tratamentos em nenhum dos blocos experimentais, com valores de DW/FW bastante próximos entre si, independentemente da condição de luz aplicada. No bloco 1, os tratamentos V, REF, M e B apresentaram médias de DW/FW variando entre 0,123 e 0,132, indicando uma leve tendência para o tratamento V resultar em maior proporção de biomassa seca, embora sem significância estatística.

No bloco 2, o tratamento B apresentou a maior média de DW/FW (0,138  $\pm$  0,006), seguido pelos tratamentos M, REF e V, cujos valores também se mantiveram muito próximos, variando entre 0,125 e 0,129. Essa leve variação pode sugerir uma tendência do tratamento B de favorecer a acumulação de matéria seca, mas não foi suficiente para ser estatisticamente relevante.

Já no bloco 3, os valores de DW/FW foram os mais uniformes entre os tratamentos, variando de 0,116 (tratamento B) a 0,129 (tratamento V), novamente sem diferenças significativas.

A ausência de variações substanciais na relação DW/FW entre os tratamentos indica que, sob as condições experimentais, os diferentes regimes de luz aplicados não tiveram um impacto relevante na capacidade das plantas de reter água ou acumular biomassa. Embora a análise de Tukey tenha revelado ligeiras tendências de variação, estas não foram suficientes para suportar conclusões sobre a eficácia de um tratamento sobre os outros neste parâmetro específico.

#### 4.5.5 Determinação do teor de fenóis solúveis

A concentração de fenóis solúveis, expressa em termos de ácido gálico (mg/L), foi avaliada como um indicador do metabolismo secundário das plantas e da sua capacidade antioxidante. Os fenóis desempenham um papel crucial na proteção contra o stresse oxidativo, além de contribuírem para características visuais e nutricionais das plantas, fatores relevantes para a qualidade comercial.

Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 18.

Quadro 18: Concentração de fenóis solúveis (mg/L), para os diferentes tipos de iluminação. Letras diferentes em coluna indicam médias significativamente diferentes, de acordo com o teste de Tukey, com nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

Bloco	p-value	Tratamento	Ácido gálico (Média $\pm$ DP, mg/L)	Grupos (Tukey)
1	0,022	B	33,69 ( $\pm$ 9,92)	a
		M	24,28 ( $\pm$ 3,07)	ab
		V	18,14 ( $\pm$ 11,28)	
		REF	14,85 ( $\pm$ 9,42)	b
2	0,110	B	38,31 ( $\pm$ 6,85)	a
		M	32,07 ( $\pm$ 12,84)	
		REF	26,33 ( $\pm$ 11,72)	
		V	22,99 ( $\pm$ 5,90)	
3	0,195	B	33,82 ( $\pm$ 7,21)	a
		M	26,31 ( $\pm$ 8,14)	
		REF	20,69 ( $\pm$ 11,09)	
		V	19,10 ( $\pm$ 8,38)	

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

No bloco 1, observaram-se diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. O tratamento B apresentou maior concentração média de fenóis solúveis, enquanto o tratamento REF obteve o menor valor. Os tratamentos M e V apresentaram valores intermédios, sem diferenças significativas entre si.

Nos blocos 2 e 3, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ). No entanto, os valores médios indicaram uma tendência para o tratamento B manter concentrações mais elevadas de fenóis solúveis em comparação com os demais tratamentos.

Esses resultados sugerem que a iluminação no espectro branco (B) pode favorecer a síntese de fenóis solúveis em condições específicas, possivelmente devido ao efeito do espectro mais amplo na regulação de vias metabólicas relacionadas ao metabolismo secundário.

#### **4.6. Avaliação de conservação**

O presente teste de prateleira teve como principal objetivo avaliar a longevidade das plantas de *H. macrophylla* submetidas a diferentes tratamentos de iluminação, distribuídos aleatoriamente pelos diferentes níveis dos carrinhos (Figura 43). O ensaio foi concebido de forma a avaliar a sobrevivência das plantas ao longo do tempo sem qualquer tipo de manutenção, nomeadamente rega ou outras intervenções culturais. Adicionalmente, pretendeu-se investigar se os diferentes tipos de iluminação, aplicados na fase de pré-floração, poderiam influenciar de forma significativa o tempo de sobrevivência das plantas durante o ensaio. A distribuição aleatória dos tratamentos e a ausência de cuidados adicionais visaram replicar condições que pudessem ocorrer em cenários de distribuição comercial, fornecendo uma análise abrangente sobre a influência das variáveis estudadas na durabilidade das plantas.

	Carrinho 1	Carrinho 2	Carrinho 3
Andar 1 (A1)	B1	M2	REF3
Andar 2 (A2)	M1	B2	V3
Andar 3 (A3)	V1	REF2	M3
Andar 4 (A4)	REF1	V2	B3

Figura 43: Representação esquemática da disposição dos tratamentos nos carrinhos durante o teste de conservação.

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

A1= Andar 1 (superior); A2= Andar 2 (intermédio superior); A3= Andar 3 (intermédio inferior); A4= Andar 4 (inferior).

As plantas foram dispostas em quatro andares (A1 a A4), conforme representado na Figura 43, com "A1" correspondendo ao andar superior e "A4" ao inferior. Esta disposição permitiu também analisar a influência da posição nos carrinhos e das condições ambientais associadas à altura no tempo de sobrevivência.

A Figura 44 apresenta uma visão geral das curvas de sobrevivência das plantas, considerando todos os tratamentos de iluminação e andares em conjunto. Este gráfico permite observar a tendência geral, que indica uma diminuição constante do número de plantas vivas ao longo do tempo, com diferenças subtis entre os andares e os tratamentos de iluminação.

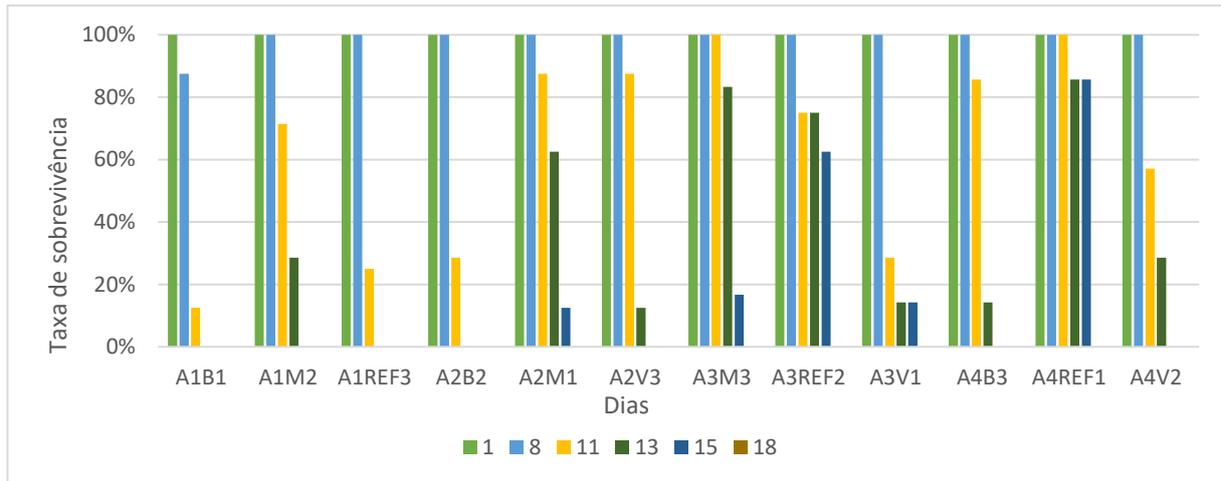


Figura 44: Sobrevivência das plantas ao longo do tempo, por tratamento e andar.

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

A1= Andar 1 (superior); A2= Andar 2 (intermédio superior); A3= Andar 3 (intermédio inferior); A4= Andar 4 (inferior).

De forma mais detalhada, os gráficos na Figura 45 mostram a variação da sobrevivência por andar e por tratamento de iluminação (LED branco, luz mista e luz vermelha). A tendência geral evidenciada nos gráficos indica que as plantas posicionadas no andar mais elevado (A1) resultaram naquelas que sofreram stress hídrico mais precocemente. Esta observação sugere que a maior exposição a condições ambientais adversas como uma maior circulação de ar e evaporação, o que promoveu uma desidratação acelerada. Em contrapartida, as plantas localizadas nos andares inferiores, em particular no andar 3, exibiram maior resistência ao longo do tempo, sobrevivendo por mais dias em comparação com as do andar 1. Esta diferença pode ser atribuída à menor exposição a condições extremas, como a evaporação intensa, o que favoreceu uma maior retenção de humidade e, consequentemente, uma maior longevidade.

No geral, os resultados indicam que a posição das plantas nos carrinhos desempenhou um papel mais relevante na sua longevidade do que os diferentes tratamentos de iluminação aplicados na fase de pré-floração. Assim, o posicionamento estratégico das plantas em pontos de venda pode ser um fator crucial para maximizar a sua durabilidade e garantir a qualidade comercial ao longo do tempo.

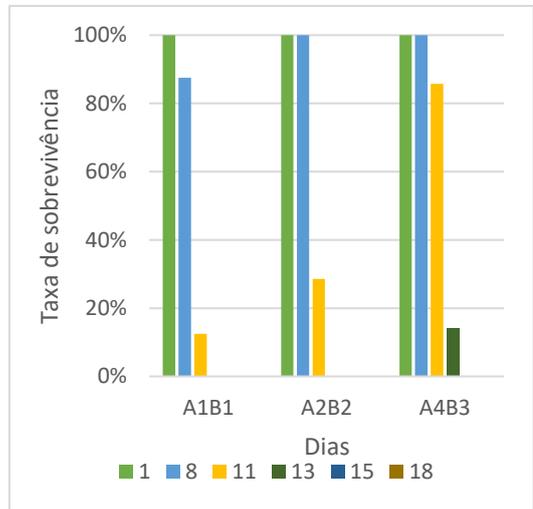
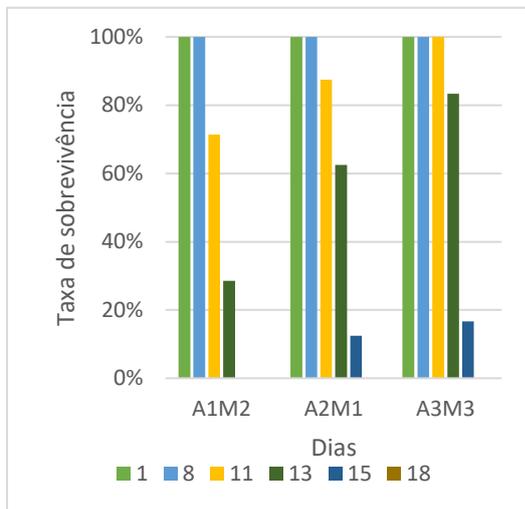
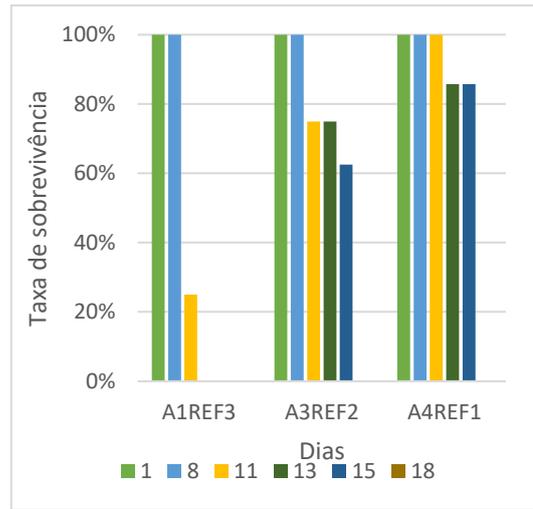
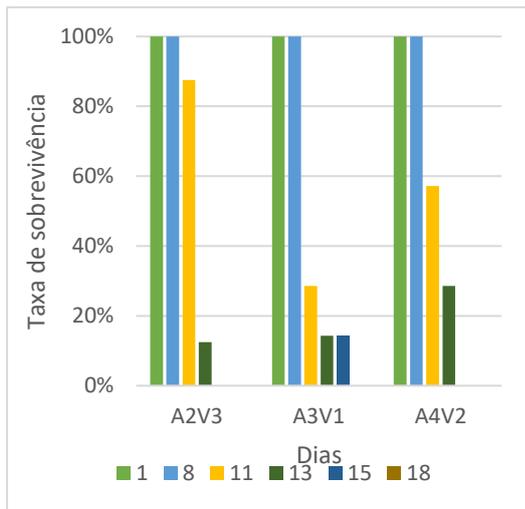


Figura 45: Sobrevivência das plantas ao longo do tempo por andar, dividido em tratamentos.

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho; REF= sem iluminação artificial.

A1= Andar 1 (superior); A2= Andar 2 (intermédio superior); A3= Andar 3 (intermédio inferior); A4= Andar 4 (inferior).

#### 4.7. Mortalidade atribuída à *Phytophthora*

Durante o período experimental de sete semanas, em que as plantas de *Hydrangea macrophylla* foram submetidas a diferentes tratamentos de iluminação artificial, foi registada a morte de 11 plantas devido à infeção por *Phytophthora*, um patógeno agressivo que afeta diversas plantas ornamentais. Das plantas afetadas, três faziam parte das plantas de medição, sendo as restantes de bordadura. A ocorrência desta doença, embora não tenha sido o foco principal do estudo, merece uma menção pelos impactos que pode ter no desenvolvimento e qualidade das plantas.

Os primeiros sinais de infeção manifestaram-se com clorose, isto é, o amarelecimento das folhas, que se manifestou de forma precoce (Figura 46). Com a progressão da infeção, tornou-se evidente a murchidão das folhas e dos caules, seguida pela necrose dos caules, que começou na base da planta, junto ao substrato, e subiu em direção às partes superiores (Figura 47). Este padrão de necrose basal, típico de infeções por *Phytophthora*, é frequentemente associado à deterioração dos tecidos vasculares, comprometendo o transporte de água e nutrientes e levando à morte das plantas. Na fase final, as plantas apresentavam necrose completa, com desidratação severa das folhas e colapso estrutural (Figura 48).

As medições semanais realizadas com o colorímetro permitiram identificar precocemente alterações significativas na coloração das folhas das plantas que acabaram por sucumbir à infeção. Estas plantas apresentaram um tom amarelado nas semanas anteriores ao aparecimento visível dos sintomas mais graves, como murchidão e necrose. Esta observação sugere que a infeção por *Phytophthora* pode induzir alterações cromáticas numa fase precoce, antes da manifestação de sinais morfológicos mais evidentes.

A deteção antecipada de alterações cromáticas nas plantas infetadas pode ser um recurso valioso na deteção precoce da doença em plantas ornamentais. A capacidade de antever estas alterações cromáticas com medições objetivas, como o uso de colorímetros, aponta para o potencial de desenvolver métodos de monitorização baseados na coloração foliar. Num contexto de produção comercial, a implementação de técnicas de monitorização aérea, utilizando sensores de coloração acoplados a *drones* ou outras tecnologias, poderia facilitar a identificação precoce de plantas infetadas, mitigando assim a disseminação do patógeno e reduzir o impacto económico.

Apesar da presença da infecção por *Phytophthora*, o impacto nos dados das plantas de medição não foi significativo, não comprometendo os resultados gerais do ensaio. Contudo, este incidente sublinha a importância de implementar medidas preventivas rigorosas em estudos experimentais e em sistemas de produção. O uso de substratos com boa drenagem e a irrigação controlada, ajustada às condições ambientais, são práticas essenciais para prevenir a proliferação deste patógeno. A detecção precoce, aliada à monitorização contínua das condições ambientais, é crucial para mitigar os riscos associados a infecções por *Phytophthora* e manter a qualidade das plantas em sistemas de produção comercial.



Figura 46: Clorose das folhas como um dos primeiros sinais de infecção por *Phytophthora*.



Figura 47: Murchidão das folhas e necrose basal dos caules, com a infecção a progredir desde o substrato para a parte superior da planta.



Figura 48: Aspeto geral da planta em estado avançado, causado por *Phytophthora*.

## 4.8. Estudo económico

O objetivo deste estudo económico é comparar os custos de diferentes tipos de iluminação artificial (luz branca, luz mista e luz vermelha) com os custos dos reguladores de crescimento atualmente utilizados pela empresa. A finalidade é avaliar se a substituição dos reguladores por sistemas de iluminação artificial pode ser economicamente viável, além de identificar qual iluminação é mais eficiente para a produção de *Hydrangea macrophylla* em fase de pré-floração.

O custo de eletricidade foi fixado em 0,15 €/kWh tendo em conta um valor médio para o preço da eletricidade em Portugal, tendo sido feita avaliação económica para os três tipos de luzes em estudo (B, M e V), tal como descrito no Quadro 19.

Quadro 19: Análise económica dos diferentes tipos de iluminação artificial.

	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>M</b>
<b>Quantidade</b>	3 fitas	4 lâmpadas	1 lâmpada
<b>Consumo diário (kWh)</b>	0,108	0,0372	0,325
<b>Consumo total diário (kWh)</b>	0,324	0,1488	0,325
<b>Funcionamento (h)</b>	18	0,25	18
<b>Energia consumida por dia (kWh/dia)</b>	5,832	0,0372	5,85
<b>Custo diário (€/dia)</b>	0,87	0,0056	0,88
<b>Custo mensal (€/mês)</b>	26,10€	0,17 €	26,40 €
<b>Custo mensal por planta (€/mês/planta)</b>	2,18	0,014	2,20

Notas: B= Fitas de LED no espectro do branco; M= Lâmpadas de LED com combinação de luz no espectro do azul e do vermelho; V= Lâmpadas de LED no espectro do vermelho.

Foi feito também o registo do custo dos reguladores de crescimento, de modo a comparar com a iluminação artificial, expresso no Quadro 20.

Quadro 20: Análise económica dos reguladores de crescimento da fase de pré-floração.

	<b>Daminozida (Dazide)</b>	<b>Penconazol (Pencol)</b>	<b>Paclobutrazol (Paclot)</b>
<b>Quantidade</b>	130 kg	14 L	0,6 L
<b>Preço/Quantidade</b>	94,19 €/kg	41,8 €/L	50 €/L
<b>Preço (€)</b>	12 244,70	585,20	30,00
<b>Quantidade plantas</b>	844 000		
<b>Preço/planta (€/planta)</b>	0,0152		

A análise económica revela que a utilização do tratamento V apresenta um custo por planta de 0,014 €/planta/mês, o que representa uma redução de cerca de 8,3% em comparação com o custo dos reguladores de crescimento químicos (0,0152 €/planta/mês).

Outro fator importante a considerar é a eficiência da distribuição da luz. As lâmpadas LED no espectro do vermelho possuem um ângulo de difusão que permite cobrir mais do que apenas as plantas diretamente sob as lâmpadas. Isso significa que plantas nas proximidades também são beneficiadas pela luz dispersa, o que possibilita uma redução no número total de lâmpadas necessárias para cobrir a área de cultivo. Como resultado, essa característica pode contribuir para uma nova redução de custos, pois seria possível usar menos lâmpadas para cobrir a mesma área efetiva de iluminação.

Dada a viabilidade técnica e económica, a substituição dos reguladores de crescimento por este sistema de iluminação artificial pode representar uma solução atrativa para a produção de *Hydrangea macrophylla* na fase de pré-floração.



## 5. Conclusão

A presente investigação teve como objetivo principal, no contexto comercial, avaliar o impacto de diferentes tipos de iluminação LED (branca, mista e vermelha) no crescimento e desenvolvimento de *Hydrangea macrophylla*, com o intuito de melhorar a qualidade comercial das plantas e identificar uma alternativa tecnicamente viável e economicamente vantajosa aos reguladores de crescimento tradicionalmente utilizados.

Os resultados demonstraram que a luz no espectro do vermelho (V) se destacou como a opção mais eficaz para o controlo da altura das plantas, promovendo crescimento vegetativo compacto e harmonioso, aspeto importante do ponto de vista comercial. Esta característica garante que as plantas possuam o tamanho ideal para transporte e armazenamento, preservando a sua qualidade estética e comercial. Embora a luz no espectro do branco (B) tenha obtido resultados positivos em algumas condições, o tratamento V apresentou consistentemente o melhor desempenho no que diz respeito à compactidade e morfologia das plantas.

Do ponto de vista fisiológico o tratamento V também se mostrou eficaz ao estimular a produção de clorofila e aumentar a espessura das folhas, fatores essenciais para a fotossíntese eficiente e o crescimento robusto das plantas. Esse incremento na produção de clorofila otimizou a captura de luz e a eficiência fotossintética, resultando em melhores aspetos cromáticos das folhas, um parâmetro diretamente ligado à qualidade visual e ao valor comercial das plantas. Além disso, a luz vermelha melhorou a condutância estomática, favorecendo a regulação das trocas gasosas e otimizando o uso de dióxido de carbono durante a fotossíntese, contribuindo para o desenvolvimento de plantas mais vigorosas com maior potencial de sobrevivência durante o transporte e armazenamento.

No teste de conservação, que simulou o transporte e armazenamento, observou-se que a posição das plantas nos carrinhos influenciou a sua longevidade, independentemente do tipo de iluminação usado durante a fase de pré-floração. Plantas nos andares superiores tiveram menor sobrevivência devido ao stress hídrico, enquanto as nos andares inferiores mostraram maior resistência.

Sob a ótica económica, o tratamento V destacou-se como a solução mais vantajosa, apresentando um custo por planta de 0,014 €/planta/mês, o que representa uma redução de cerca de 8,3% em comparação com o custo dos reguladores de crescimento químicos, que foi de 0,0152 €/planta. Além da leve redução de custos, o mesmo tratamento oferece

vantagens adicionais, como a capacidade de difundir luz para plantas vizinhas, reduzindo assim o número total de lâmpadas necessárias e aumentando a eficiência energética. Esse fator não só amplifica o potencial de poupança, como também torna o sistema de iluminação mais sustentável a longo prazo.

Em suma, a luz LED no espectro do vermelho revelou-se uma solução tecnicamente promissora, oferecendo benefícios tanto na melhoria da morfologia e qualidade visual das plantas como na redução de custos e eficiência energética. A transição para sistemas de iluminação LED representa uma alternativa viável e atrativa aos reguladores de crescimento químicos, proporcionando uma produção de *Hydrangea macrophylla* de alta qualidade comercial e com vantagens económicas para os produtores.

## 6. Referências bibliográficas

- AIPH. (2023). *International Statistics Flowers and Plants 2023* (Vol. 71).
- Ali, M. B., Hahn, E.-J., & Paek, K.-Y. (2005). Effects of light intensities on antioxidant enzymes and malondialdehyde content during short-term acclimatization on micropropagated *Phalaenopsis* plantlet. *Environmental and Experimental Botany*, *54*(2), 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.06.005>
- Almansa, E. M., Chica, R. M., & Lao, M. T. (2018). Influence of the quality of artificial light on grafting tomato. *Australian Journal of Crop Science*, *12*(2), 318–325. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.02.p7685>
- Anderson, N., Weiland, J., Pharis, J., Gagné, W., Janiga, E., & Rosenow, M. J. (2009). Comparative forcing of *Hydrangea macrophylla* ‘Bailer’ as a florist’s hydrangea. *Scientia Horticulturae*, *122*(2), 221–226. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.003>
- Arve, L. E., Terfa, M. T., Suthaparan, A., Poudel, M. S., Gislerod, H. R., Olsen, J. E., & Torre, S. (2015). Aerial environment and light quality during production affect postharvest transpiration of ornamentals. *Acta Horticulturae*, *1104*(October), 197–203. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1104.30>
- Bailey, D. A. (1980). Hydrageas. In R. A. Larson (Ed.), *Introduction to Floriculture* (2nd ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-11047-1>
- Bailey, D. A., & Clark, B. (1992). Summer Applications of Plant Growth Retardants Affect Spring Forcing of Hydrangeas. *HortTechnology*, *2*(2), 213–216. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.2.2.213>
- Ball, G. J. (2021). Crop culture by crop: Hydrangea. In J. Nau, B. Calkins, & A. Westbrook (Eds.), *Ball Redbook. Volume 2, Crop culture and production* (19th ed., Vol. 2, pp. 553–565). Ball Publishing.
- Bañón, S., Ochoa, J., Bañón, D., Ortuño, M. F., & Sánchez-Blanco, M. J. (2019). Controlling salt flushing using a salinity index obtained by soil dielectric sensors improves the physiological status and quality of potted hydrangea plant. *Scientia Horticulturae*, *247*(December 2018), 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.026>
- Bantis, F., Koukounaras, A., Siomos, A. S., Fotelli, M. N., & Kintzonidis, D. (2020). Bichromatic red and blue LEDs during healing enhance the vegetative growth and quality of grafted watermelon seedlings. *Scientia Horticulturae*, *261*(November 2019), 109000. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109000>
- Blom, T. J., Tsujita, M. J., & Roberts, G. L. (1995). Far-red at end of day and reduced irradiance affect plant height of Easter and Asiatic hybrid lilies. *HortScience*, *30*(5), 1009–1012. <https://doi.org/10.21273/hortsci.30.5.1009>
- Brazaityte, A., Ulinskaite, R., Duchovskis, P., Samuoliene, G., Šikšnianiene, J. B.,

- Jankauskiene, J., Šabajeviene, G., Baranauskis, K., Staniene, G., Tamulaitis, G., Bliznikas, Z., & Žukauskas, A. (2006). Optimization of lighting spectrum for photosynthetic system and productivity of lettuce by using light-emitting diodes. *Acta Horticulturae*, 711(June), 183–188. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.22>
- Buanong, M., Mibus, H., Sisler, E. C., & Serek, M. (2005). Efficacy of new inhibitors of ethylene perception in improvement of display quality of miniature potted roses (*Rosa hybrida* L.). *Plant Growth Regulation*, 47(1), 29–38. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-1768-y>
- Bula, R. J., Morrow, R. C., Tibbitts, T. W., Barta, D. J., Ignatius, R. W., & Martin, T. S. (1991). Light-emitting Diodes as a Radiation Source for Plants. *HortScience*, 26(2), 203–205. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.2.203>
- Cameron, R. W. F., Harrison-Murray, R. S., Atkinson, C. J., & Judd, H. L. (2006). Regulated deficit irrigation - A means to control growth in woody ornamentals. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(3), 435–443. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512085>
- Cheng, X., Wang, R., Liu, X., Zhou, L., Dong, M., Rehman, M., Fahad, S., Liu, L., & Deng, G. (2022). Effects of Light Spectra on Morphology, Gaseous Exchange, and Antioxidant Capacity of Industrial Hemp. *Frontiers in Plant Science*, 13(June). <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.937436>
- Club Global Flowers. (2023). *Hydrangea macrophylla Hi White Sun*. <https://club.global.flowers/en/hydrangea/24156-hydrangea-macrophylla-hi-white-sun>
- Codarin, S., Galopin, G., & Chasseriaux, G. (2006). Effect of air humidity on the growth and morphology of *Hydrangea macrophylla* L. *Scientia Horticulturae*, 108(3), 303–309. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.036>
- Davies, P. J. (2010). Plant hormones: Biosynthesis, signal transduction, action! *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!*, October, 1–802. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7>
- de Groot, J. J., & van Vliet, J. A. J. M. (1986). Historical Review. In *The High-Pressure Sodium Lamp* (p. 13). Macmillan Education UK. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-09196-6>
- Deitzer, G. F., Hayes, R., & Jabben, M. (1979). Kinetics and Time Dependence of the Effect of Far Red Light on the Photoperiodic Induction of Flowering in Wintex Barley. *Plant Physiology*, 64(6), 1015–1021. <https://doi.org/10.1104/pp.64.6.1015>
- Dong, C., Fu, Y., Liu, G., & Liu, H. (2014). Low light intensity effects on the growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity, yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) at different growth stages in BLSS. *Advances in Space Research*, 53(11), 1557–1566. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2014.02.004>
- Downs, R. J. (1956). Photoreversibility of Flower Initiation. *Plant Physiology*, 31(4), 279–284. <https://doi.org/10.1104/pp.31.4.279>

- European Commision- Agriculture and Rural Development. (2020). *STATISTICS 2010 - 2019 Flowers and Ornamental Plants - Production*.
- Folta, K. M., & Childers, K. S. (2008). Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. *HortScience*, *43*(7), 1957–1964. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.7.1957>
- Fukuda, N., Fujita, M., Ohta, Y., Sase, S., Nishimura, S., & Ezura, H. (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*, *115*(2), 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.08.006>
- Fylladitakis, E. D. (2023). Controlled LED Lighting for Horticulture: A Review. *Open Journal of Applied Sciences*, *13*(02), 175–188. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2023.132014>
- Gago, C. M. L., & Monteiro, J. A. (2012). NAA and STS effects on potted bougainvillea: Early flower death allows delayed bract abscission. *Postharvest Biology and Technology*, *74*, 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.06.015>
- Garcia Gallo, A., Rodríguez Delgado, O., Land, E. O., & Silva, L. (2008). Hydrangea macrophylla (Thunb.) Ser. In L. Silva, M. Moura, F. M. Fernandes, & E. O. Land (Eds.), *Flora e Fauna Terrestre invasora na Macaronésia - Top100 nos Açores, Madeira e Canárias* (pp. 251–254). ARENA.
- Glasgow, T. E., Bilderback, T. E., Johnson, T., B. Perry, K., & Safley, C. D. (1998). Evaluating Consumer Perceptions of Plant Quality. *SOUTHERN NURSERY ASSOCIATION RESEARCH PROCEEDINGS, SNA RESEARCH CONFERENCE*, *43*, 497–500.
- Goins, G. D., Yorio, N. C., Sanwo, M. M., & Brown, C. S. (1997). Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *Journal of Experimental Botany*, *48*(312), 1407–1413. <https://doi.org/10.1093/jxb/48.7.1407>
- Hartmann, H. T., Flocker, W. J., & Kofranek, A. M. (1981). *Plant Science: Growth, Development, and Utilization of Cultivated Plants* (4th ed.). Prentice-Hall. Englewood Cliffs.
- Hayashi, T., Heins, R. D., Cameron, A. C., & Carlson, W. H. (2001). Ethephon influences flowering, height, and branching of several herbaceous perennials. *Scientia Horticulturae*, *91*(3–4), 305–324. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00225-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00225-4)
- Hemsley, A. R., & Poole, I. (2004). The evolution of aluminium accumulation in angiosperms. In S. Jansen, W. Toshihiro, S. Dessen, E. Robbrecht, & E. Smets (Eds.), *The Evolution of Plant Physiology*. Linnean Society of London by Elsevier Academic Press.
- Hibreeding. (2024). *Catalog Assortment 2024/2025*.
- Hidaka, K., Dan, K., & Imamura, H. (2013). Effect of Supplemental Lighting from Different Light Sources on Growth and Yield of Strawberry. *Environmental Control in Biology*, *51*(1), 41–

47. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2525/ecb.51.41>
- Hoenecke, M. E., Bula, R. J., & Tibbitts, T. W. (1992). Importance of “Blue” Photon Levels for Lettuce Seedlings Grown under Red-light-emitting Diodes. *HortScience*, 27(5), 427–430. <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.5.427>
- Huylenbroeck, J. Van. (2014). Status of Floriculture in Europe. In *Protocols for In Vitro Propagation of Ornamental Plants* (pp. 365–376).
- Ilias, I. F., & Rajapakse, N. (2005). The effects of end-of-the-day red and far-red light on growth and flowering of *Petunia xhybrida* “Countdown Burgundy” Grown under photosensitive films. *HortScience*, 40(1), 131–133. <https://doi.org/10.21273/hortsci.40.1.131>
- INE. (2013). *Floricultura e Plantas Ornamentais 2012*.
- IPMA. (2024). *Normal Climatológica-Setúbal*.
- Islam, M. A., Gislørød, H. R., Torre, S., & Olsen, J. E. (2015). Control of shoot elongation and hormone physiology in poinsettia by light quality provided by light emitting diodes—a minireview. *Acta Horticulturae*, 1104(October), 131–136. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1104.20>
- Islam, M. A., Kuwar, G., Clarke, J. L., Blystad, D. R., Gislørød, H. R., Olsen, J. E., & Torre, S. (2012). Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps. *Scientia Horticulturae*, 147(March 2021), 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.08.034>
- Islam, M. A., Tarkowská, D., Clarke, J. L., Blystad, D. R., Gislørød, H. R., Torre, S., & Olsen, J. E. (2014). Impact of end-of-day red and far-red light on plant morphology and hormone physiology of poinsettia. *Scientia Horticulturae*, 174(1), 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.013>
- Kandilarov, R. Y. (2018). LED Lamp with Customizable Light Regimes for Horticulture Applications. *2018 IEEE 27th International Scientific Conference Electronics, ET 2018 - Proceedings, Figure 2*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ET.2018.8549613>
- Kasperbauer, M. J., & Peaslee, D. E. (1973). Morphology and Photosynthetic Efficiency of Tobacco Leaves That Received End-of-Day Red and Far Red Light during Development. *Plant Physiology*, 52(5), 440–442. <https://doi.org/10.1104/pp.52.5.440>
- Keever, G. J., & Foster, W. J. (1989). Response of Two Florist Azalea Cultivars to Foliar Applications of a Growth Regulator. *Journal of Environmental Horticulture*, 7(2), 56–59. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-7.2.56>
- Kodama, M., Tanabe, Y., & Nakayama, M. (2016). Analyses of coloration-related components in *Hydrangea* sepals causing color variability according to soil conditions. *Horticulture Journal*, 85(4), 372–379. <https://doi.org/10.2503/hortj.MI-131>
- Larson, R. A. (1985). Growth Regulators in Floriculture. In *Horticultural Reviews* (Vol. 7, pp. 399–481). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118060735.ch9>

- Li, Y., Chen, H., Ji, H., Wang, S., Zhu, Z., & Wang, X. (2012). Effect of LED supplemental illumination on the growth of strawberry plants. *Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO)*. <https://doi.org/10.1109/SOPO.2012.6270919>
- Lütken, H., Clarke, J. L., & Müller, R. (2012). Genetic engineering and sustainable production of ornamentals: Current status and future directions. *Plant Cell Reports*, *31*(7), 1141–1157. <https://doi.org/10.1007/s00299-012-1265-5>
- Massa, G. D., Kim, H.-H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. (2008). Plant Productivity in Response to LED Lighting. *HortScience*, *43*(7), 1951–1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>
- Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., Goto, E., & Kurata, K. (2004). Photosynthetic Characteristics of Rice Leaves Grown under Red Light with or without Supplemental Blue Light. *Plant and Cell Physiology*, *45*(12), 1870–1874. <https://doi.org/10.1093/pcp/pch203>
- Meijón, M., Rodríguez, R., Jesús Cañal, M., & Feito, I. (2009). Improvement of compactness and floral quality in azalea by means of application of plant growth regulators. *Scientia Horticulturae*, *119*(2), 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.023>
- Muneer, S., Kim, E., Park, J., & Lee, J. (2014). Influence of Green, Red and Blue Light Emitting Diodes on Multiprotein Complex Proteins and Photosynthetic Activity under Different Light Intensities in Lettuce Leaves (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, *15*(3), 4657–4670. <https://doi.org/10.3390/ijms15034657>
- Noordegraaf, C. (1994). Production and Marketing of High Quality Plants. In *Acta Horticulturae* (Issue 353, pp. 134–148). <https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.353.11>
- Nordli, E. F., Strøm, M., & Torre, S. (2011). Temperature and photoperiod control of morphology and flowering time in two greenhouse grown *Hydrangea macrophylla* cultivars. *Scientia Horticulturae*, *127*(3), 372–377. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.019>
- Ouzounis, T., Rosenqvist, E., & Ottosen, C.-O. (2015). Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Review. *HortScience*, *50*(8), 1128–1135. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.8.1128>
- Pfeiffer, N. E. (1926). Microchemical and Morphological Studies of Effect of Light on Plants. *Botanical Gazette*, *81*(2), 173–195.
- Rajapakse, N. C., McMahon, M. J., & Kelly, J. W. (1993). End of day far-red light reverses height reduction of chrysanthemum induced by CuSO<sub>4</sub> spectral filters. *Scientia Horticulturae*, *53*(3), 249–259. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(93\)90073-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4238(93)90073-Y)
- Ranwala, A. P., & Miller, W. B. (2005). Effects of cold storage on postharvest leaf and flower quality of potted Oriental-, Asiatic- and LA-hybrid lily cultivars. *Scientia Horticulturae*, *105*(3), 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.031>
- Royal Flora Holland. (2023). *2022 Annual Report*.

- Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Jankauskienė, J., Viršilė, A., Sirtautas, R., Novičkovas, A., Sakalauskienė, S., Sakalaukaitė, J., & Duchovskis, P. (2013). LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. *Open Life Sciences*, 8(12), 1241–1249. <https://doi.org/10.2478/s11535-013-0246-1>
- Schneider, S., Ziegler, C., & Melzer, A. (2006). Growth towards light as an adaptation to high light conditions in Chara branches. *New Phytologist*, 172(1), 83–91. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01812.x>
- Shin, K. S., Murthy, H. N., Heo, J. W., Hahn, E. J., & Paek, K. Y. (2008). The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured Doritaenopsis plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(3), 339–343. <https://doi.org/10.1007/s11738-007-0128-0>
- Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.117>
- Smith, H. (1995). Physiological and ecological function within the phytochrome family. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 46(1), 289–315. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.46.060195.001445>
- Sonego, G., & Bellé, R. A. (1996). Armazenamento refrigerado de três cultivares de hortênsia cultivadas em vaso. *Ciência Rural*, 26(3), 385–390. <https://doi.org/10.1590/S0103-84781996000300007>
- Starman, T. W., Beach, S. E., & Eixmann, K. L. (2007). Postharvest decline symptoms after simulated shipping and during shelf life of 21 cultivars of vegetative annuals. *HortTechnology*, 17(4), 544–551. <https://doi.org/10.21273/horttech.17.4.544>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2014). Physiology Plants. *Plants Physiology*, 449–451.
- Takeda, F., Glenn, D. M., & Stutte, G. W. (2008). Red light affects flowering under long days in a short-day strawberry cultivar. *HortScience*, 43(7), 2245–2247. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.7.2245>
- Terfa, M. T., Poudel, M. S., Roro, A. G., Gislerød, H. R., Olsen, J. E., & Torre, S. (2012). Light emitting diodes with a high proportion of blue light affects external and internal quality parameters of pot roses differently than the traditional high pressure sodium lamp. *Acta Horticulturae*, 956, 635–641. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.956.76>
- Terfa, M. T., & Torre, S. (2019). Impact of lighting conditions during forcing on flowering time, morphology and postharvest transpiration of Hydrangea macrophylla. *Acta Horticulturae*, 1263(November), 405–411. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1263.53>
- Tibbitts, T. W., Morgan, D. C., & Warrington, I. J. (1983). Growth of Lettuce, Spinach, Mustard, and Wheat Plants under Four Combinations of High-pressure Sodium, Metal Halide, and Tungsten Halogen Lamps at Equal PPFD. *Journal of the American Society for*

- Horticultural Science*, 108(4), 622–630. <https://doi.org/10.21273/jashs.108.4.622>
- UNECE. (2024). *INSIGHTS INTO THE INTERNATIONAL FLOWER TRADE*.
- van der Ploeg, R. (2024). *Royal FloraHolland reports €17 million loss following a ‘truly challenging operating environment’ in 2023*. AIPH. <https://aiph.org/floraculture/news/royal-floraholland-reports-e17-million-loss-following-a-truly-challenging-operating-environment-in-2023/>
- Vänninen, I., Pinto, D. M., Nissinen, A. I., Johansen, N. S., & Shipp, L. (2010). In the light of new greenhouse technologies: 1. Plant-mediated effects of artificial lighting on arthropods and tritrophic interactions. *Annals of Applied Biology*, 157(3), 393–414. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00438.x>
- Wade, G. L. (2009). Growing Bigleaf Hydrangea. *The University of Georgia – Cooperative Extension, Circular 973*, 4.
- Wang, Q., Chen, J., Stamps, R. H., & Li, Y. (2005). Correlation of visual quality grading and SPAD reading of green-leaved foliage plants. *Journal of Plant Nutrition*, 28(7), 1215–1225. <https://doi.org/10.1081/PLN-200063255>
- Waterhouse, A. L. (2003). Determination of Total Phenolics. In *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* (Vol. 6, Issue 1, p. 11.1.1-11.1.8). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471142913.fai0101s06>
- Whealy, C. A., Nell, T. A., & Barrett, J. E. (1988). Plant Growth Regulator Reduction of Bypass Shoot Development in Azalea. *HortScience*, 23(1), 166–167. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.23.1.166>
- Wilson, E. H. (1923). The Hortensias *Hydrangea macrophylla* DC. and *Hydrangea serrata* DC. *Journal of the Arnold Arboretum.*, 4(4), 233–246. <https://doi.org/10.5962/p.317979>
- Yanagi, T., Okamoto, K., & Takita, S. (1996). Effect of blue and red light intensity on photosynthetic rate of strawberry leaves. In *Acta Horticulturae* (Vol. 440, pp. 371–376). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.440.65>
- Yoshida, K., Ito, D., Shinkai, Y., & Kondo, T. (2008). Change of color and components in sepals of chameleon hydrangea during maturation and senescence. *Phytochemistry*, 69(18), 3159–3165. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.02.024>