

ANDRÉ MALACARNE MILANEZ

**LUZ INTERMITENTE DE LÂMPADA DE DIODO EMISSOR DE LUZ ‘LED’
NO CONTROLE DO FLORESCIMENTO EM CRISÂNTEMO (*Dendranthema
grandiflorum* T.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M6371 Milanez, André Malacarne, 19-
2017 Luz intermitente de lâmpada de diodo emissor de luz
"LED" no controle do florescimento em crisântemo (*Dendranthema grandiflora* T.) / André Malacarne Milanez. –
Viçosa, MG, 2017.

xi, 58f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: José Antônio Saraiva Grossi.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 47-53.

1. *Dendranthema grandiflora*. 2. Crisântemo - Floração.
3. Plantas - Efeito da luz. 4. Fotoperíodo. I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.93399

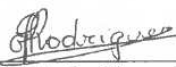
ANDRÉ MALACARNE MILANEZ

**LUZ INTERMITENTE DE LÂMPADA DE DIODO EMISSOR DE LUZ 'LED'
NO CONTROLE DO FLORESCIMENTO EM CRISÂNTEMO (*Dendranthema
grandiflorum* T.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

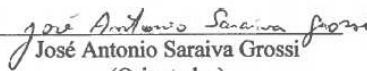
APROVADA: 10 de fevereiro de 2017


José Geraldo Barbosa
(Coorientador)


Ernesto José Resende Rodrigues
(Coorientador)


Affonso Henrique Lima Zuin


Hediberto Nei Matielo


José Antonio Saraiva Grossi
(Orientador)

*À Deus,
Aos meus pais, Marta e José Luiz pelo
exemplo e amor incondicional,
Aos meus tios, Rose e Zecão pela
acolhida e amor.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, natureza e pessoas maravilhosa em meu convívio.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia pela formação no curso de doutorado.

Ao professor José Antonio Saraiva Grossi pelo bom convívio, disponibilidade, auxílio e orientação durante minha passagem no curso de pós-graduação.

Aos professores José Geraldo Barbosa, Ernesto José Resende Rodrigues e Luiz Alexandre Peternelli, pelos auxílios e orientações na condução de todo o projeto de pesquisa.

Ao professor Sérgio Zolnier pela participação na banca de qualificação e excelentes contribuições para tese.

Aos professores Affonso Henrique Lima Zuin e Hediberto Nei Matiello por compor a banca de defesa e contribuírem para melhoria da tese.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo provimento da bolsa.

À FAPEMIG, pelo apoio financeiro deste trabalho de pesquisa.

Ao Sérgio, pela montagem das lâmpadas de LED usadas nos experimentos.

Aos funcionários da Universidade Federal de Viçosa, em especial, aos funcionários da Floricultura: Ernesto, Chico, Zé Carlos, Antonio, Peroba, Leite e da secretaria de pós graduação: Tatiane e Lúcia pelo suporte prestado, e convívio sempre amistoso e produtivo.

Às estagiárias Daniela, Nayara, Joana e Bruna pela ajuda.

Aos colegas do Setor de Floricultura Thamyres, Gustavo, Rogério, Raimundo e Joice pelas conversas e auxílio.

Aos meus pais, José Luiz Milanez e Marta Malacarne Milanez pelo amor incondicional, apoio irrestrito e torcida sem igual. Aos meus irmãos (ãs) Éder, Marcelly e Ana Lucia, e cunhado (a) Juliara e Andersom pelo amor e carinho. A Sophia por tornar minha ida para casa sempre mais feliz.

Aos meus tios José Carlos Malacarne e Rosilene Andrade Malacarne e aos primos Vinicius e Victor pelo maravilhoso acolhimento, carinho e apoio.

Aos inúmeros amigos que fiz em Viçosa, os de repúblicas, do laboratório de Nutrição de plantas e os de Rock por deixar minha estadia em Viçosa mais prazerosa.

“Torna-te quem tu és”.

Friedrich Nietzsche

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	
INTENSIDADE LUMINOSA DE LÂMPADAS DIODO EMISSOR DE LUZ NO CONTROLE DE FLORESCIMENTO DE CRISÂNTEMO EM VASO	7
1.1 Introdução	7
1.2 Material e Métodos	9
1.3 Resultado e Discussão	11
1.4 Conclusão	15
CAPÍTULO 2	
ILUMINAÇÃO INTERMITENTE DE LÂMPADAS DIODO EMISSOR DE LUZ NO CONTROLE DO FLORESCIMENTO DE CRISÂNTEMO DE VASO	20
2.1 Introdução	20
2.2 Material e Métodos	21
2.3 Resultados e Discussão	23
2.4 Conclusão	29
CAPÍTULO 3	
ILUMINAÇÃO INTERMITENTE DE LÂMPADAS DIODO EMISSOR DE LUZ NO CONTROLE DE FLORESCIMENTO DE CRISÂNTEMO DE CORTE	34
3.1 Introdução	34
3.2 Material e Métodos	36
3.3 Resultados e Discussão	37
3.4 Conclusão	43
CONCLUSÃO GERAL	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXO	54

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1	Plantas de crisântemo ‘Rage’ cultivadas sob lâmpadas de led sob diferentes ciclos de luz/escuro (30’/0’, 23’/7’, 15’/15’, 7’/23’) e duas distâncias vertical da fonte de luz: (A) 2 metros e (B) 1 metro, sob lâmpadas incandescentes (LI) e sem iluminação artificial (SL) ao 60 dias de cultivo.	16
Fig. 1.2	Período de indução floral (dias) de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X).	17
Fig. 1.3	Comprimento da haste (cm) de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X).	17
Fig. 1.4	Número de hastes de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X).	18
Fig. 1.5	Número de entrenó de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X).	18
Fig. 1.6	Número de inflorescência de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X).	19
Fig. 1.7	Ciclo de cultivo (dias) de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X).	19
Fig. 2.1	Plantas de crisântemo ‘Rage’ cultivadas sob lâmpadas de led sob diferentes ciclos de luz/escuro (30’/0’, 23’/7’, 15’/15’, 7’/23’) e distâncias horizontais da fonte de luz(0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 metros), sob lâmpadas incandescentes (LI) e Sem iluminação artificial (SI) ao 57 dias de cultivo.	31
Fig.2.2	Parâmetros biológicos de crisântemo de vasos variedade “Rage” ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (C) e Distâncias horizontais da fonte luminosa (D).	32
Fig. 3.1.	Parâmetros biológicos de crisântemo de corte variedade “Sunny Reagan” ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (C) e Distâncias horizontais da fonte luminosa (D).	44

LISTA DE TABELAS

Tab. 2.1:	Correlações entre os parâmetros de crescimento de crisântemo “Rage” cultivados em diferentes ciclos de luz/escuro e distância da fonte de luz.	30
Tab. 3.1:	Correlações entre os parâmetros de crescimento de crisântemo “Sunny Reagan” cultivados em diferentes ciclos de luz/escuro e distância da fonte de luz.	43

RESUMO

MILANEZ, André Malacarne, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Luz intermitente de lâmpadas de diodo emissor de luz ‘LED’ no controle do florescimento em crisântemo (*Dendranthema grandiflorum* T.).** Orientador: José Antonio Saraiva Grossi. Coorientadores: Ernesto José Resende Rodrigues, José Geraldo Barbosa e Luiz Alexandre Peternelli.

A floricultura brasileira caracteriza-se pelo investimento promissor e pela alta demanda de mão de obra, que demonstram a importância social da atividade para o país. A cultura do crisântemo destaca-se entre as principais culturas comercializadas no mercado interno, tanto pelas flores de corte como pelas plantas de vaso. O Crisântemo tem o comportamento de planta de dia curto (PDC), ou seja, com dias de fotoperíodo menor que 13 horas de luz a planta recebe estímulo para florescer. Em plantios comerciais, o controle do florescimento é feito com iluminação artificial, para que haja oferta de hastes florais e vasos com padrão comercial durante todo o ano. Atualmente, o controle de florescimento da cultura é realizado com o uso de lâmpadas incandescentes de 100 W por período de 4 horas noturna, porém, essas lâmpadas são pouco eficientes em converter energia elétrica em energia luminosa, o que eleva o custo de produção, devido o alto gasto de energia elétrica desta técnica. Os diodos emissores de luz – led (Light Emitting Diode) proporcionam diversas vantagens como, alta durabilidade, tamanho reduzido, baixa emissão de calor, faixa espectral específico e eficiência em conversão de energia elétrica em luminosa, sendo possível obter dias longos com menor consumo de energia e economia no custo de produção. Devido ao pouco conhecimento do impacto da tecnologia do LED no controle de florescimento de crisântemo, esta pesquisa visou estudar a qualidade espectral e intensidade luminosa, no crescimento e desenvolvimento de crisântemo. Foram realizados 3 experimentos em casa de vegetação do setor de Floricultura, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. O Experimento 1 foi instalado em um delineamento em bloco ao acaso, com quatro repetições. Quatro mudas de crisântemo de vaso variedade “Rage” foram cultivadas sob lâmpadas de LED na potência de 18 W, em quatro ciclos de luz/escuro (7/23’; 15/15’; 23/7’ e 30/0’) e a duas diferentes distâncias verticais da fonte de luz, 1 e 2 metros. Os ciclos foram fornecidos das 22h às 02h totalizando quatorze horas de luz, por um período de trinta e seis dias. As testemunhas foram compostas por plantas sem iluminação suplementar (10 horas de luz) ou iluminadas com lâmpadas incandescentes de 100 W (14 horas de luz). A colheita ocorreu quando os vasos apresentaram cerca de

50% das inflorescências abertas. Os Experimentos 2 e 3 foram instalados em um delineamento em bloco ao acaso, com quatro repetições. Plantas de crisântemo de aptidão de vaso (variedade “Rage”) e de aptidão para corte (variedade “Sunny Reagan”) foram cultivadas sob lâmpadas de LED na potência de 18 W, em quatro ciclos de luz/escuro (7’/23’; 15’/15’; 23’/7’ e 30’/0’) e em diferentes distâncias horizontais da fonte de luz. Os ciclos foram fornecidos das 22h às 02h totalizando quatorze horas de luz, por um período de 26 e 30 dias, respectivamente. As testemunhas foram compostas por plantas sem iluminação suplementar (10 horas de luz) ou iluminadas com lâmpadas incandescentes de 100 W (14 horas de luz). Em todos os experimentos, para que não houvesse interferência entre os seus tratamentos, efetuou-se o isolamento entre eles através do uso de lonas pretas. Nos Experimentos 1º e 2º foram avaliados: período de indução floral, ciclo de cultivo, comprimento da haste, altura de vaso, número de hastes por planta, número de entrenós por haste, comprimento do 3º entrenó, número de inflorescências por planta, diâmetro das inflorescências, massa seca de folhas, inflorescência, haste e total. No Experimento 3 foram avaliados: período de indução floral, ciclo de cultivo, comprimento da haste, número de entrenós por haste, comprimento do 3º entrenó, número de inflorescências por planta, diâmetro das inflorescências, massa seca de folhas, inflorescência, haste e total. A interrupção da noite com o uso da iluminação com lâmpadas de LED foi eficiente no controle fotoperiódico nos três experimentos realizados. Intensidade luminosa de até $2,0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ não foi capaz de reduzir o ciclo de luz/escuro mínimo para controle de florescimento de crisântemo de vaso da variedade ‘Rage’. Lâmpadas de led com ciclo de luz/escuro de 23’/7’ minutos e intensidade luminosa de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, foram eficientes no controle do florescimento de crisântemo de vaso variedade ‘Rage’. Em plantas de crisântemo de corte da variedade ‘Sunny Reagan’, lâmpadas de led com ciclo de luz/escuro de 7’/23’ minutos e intensidade luminosa de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, foram eficientes no controle do florescimento. Lâmpadas de led com intensidade luminosa de $0,14 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ com ciclo contínuo de 4 horas são efetivas no controle do florescimento de crisântemos de corte variedade ‘Sunny Reagan’. Os resultados demonstram que o uso de lâmpadas de LED de 18 W para a produção comercial de crisântemo de vaso e crisântemo de corte é viável, produzindo flores de adequado padrão comercial com menor consumo de energia elétrica.

ABSTRACT

MILANEZ, André Malacarne, D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Intermittent light of light emitting diode ‘LED’ lamps in the control of flowering in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* T.).** Adviser: José Antonio Saraiva Grossi. Co-advisers: Ernesto José Resende Rodrigues, José Geraldo Barbosa and Luiz Alexandre Peternelli.

The Brazilian floriculture market is characterized by promising investments and high labor demand, playing an important social role in the country. Chrysanthemum, either cut flower or potted plants, stands out among major marketed flowers. It behaves as short day plants, *i.e.* plants that receive less than 13-hour-light daily to bloom. Artificial lighting is used in commercial plantations to control blooming and provide standard flowers throughout the year. Currently, flowering control is done with 100 W incandescent lamps for a 4-hour night period. However, the low efficiency of these lamps to convert electric into light energy increases production cost. Light Emitting Diode – LED lamps may be an alternative due to its durability, reduced size, low heat emission, specific spectral range and energy conversion efficiency, offering long days with lower energy consumption and therefore reducing costs. Nevertheless, little is known about LED technology on chrysanthemum flowering control. Hence, this study aimed to elucidate LED spectral quality and luminous intensity on chrysanthemum growth and flowering. To this end, we set up three greenhouse controlled experiments at the Floriculture Section of Viçosa Federal University. All experiments followed a randomized block design with four replications. In the first, four seedlings of chrysanthemum “Rage” variety were grown under 18 W LED lamps in four light/dark cycles (7/23’; 15/15’; 23/7’; 30/0’) and two vertical distances from light (1 and 2 m). Cycles were provided from 22:00pm to 2:00am for 36 days. Plants were harvested when 50 % of flowering was achieved. For the second and third experiments, potted chrysanthemum “Rage” variety and cut flower chrysanthemum “Sunny Reagan”, respectively, were grown under 18 W LED lamps in four cycles light/dark (7’/23’; 15’/15’; 23’/7’; 30’/0’) and different horizontal distances from light source. Cycles were also provided from 22:00pm to 2:00am, but for 26 and 30 days for the second and third, respectively. We used plants without supplementing lighting (10-hour light) or plants under 100 W incandescent light (14-hour light) as control for all three experiments and black canvas were installed between treatments to isolate its effect. First and second experiments evaluated flowering period, grown cycle, stem length, pot height, stem

number per plant and internode number per stem, 3^o internode length, inflorescence per plant, inflorescence diameter and plants dry matter (total, leaves, stem and inflorescence). Third experiment evaluated the same variables, but pot height. As results, we found that night interruption with LED lamps was efficient in photoperiod control in all three experiments. Luminous intensity up to 2.0 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ is not sufficient to reduce minimum light/dark cycles to control chrysanthemum “Rage” flowering. LED lamps in 23’/7’ light/dark cycles and 0.6 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ were the most efficient in controlling chrysanthemum “Rage” flowering. In cut flowers chrysanthemum “Sunny Reagan”, LED lamps in 7’/23’ light/dark cycles were efficient to control flowering. 0.14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ LED lights with continuous 4-hour cycle are effective in chrysanthemum “Sunny Reagan” flowering control. In summary, our results show that 18 W LED lights are suitable for commercial production of pot and cut chrysanthemum flower with lower consumption of electric energy.

INTRODUÇÃO GERAL

A floricultura brasileira mostra-se expressiva no âmbito econômico e tecnológico, desde a produção de sementes, bulbos e mudas de árvores, até o cultivo de plantas ornamentais, englobando flores de corte e plantas envasadas. É um setor altamente competitivo, que utiliza tecnologias avançadas, exige grande conhecimento técnico pelo produtor e um sistema eficiente de distribuição e comercialização, Caracterizando-se importante atividade dentre os setores agrícolas. A produção de flores movimenta simultaneamente os três setores da economia brasileira: o setor primário com a produção de mudas, sementes, flores de vasos e corte e plantas ornamentais; o setor secundário das grandes indústrias de insumos agrícolas, tais como: máquinas, implementos agrícolas, equipamentos de análises, automação, de adubos e corretivos para o solo, do plástico, de telas e filmes plásticos utilizados nas estufas até embalagens para transporte e comercialização, do papelão, utilizadas em embalagens; o setor terciário que abrange uma série de serviços paralelos como a comercialização, assistência técnica, seguros e outros.

A produção de flores proporciona altos rendimentos por área conforme o Instituto Brasileiro de Floricultura – IBRAFLOR em mapeamento da cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais realizado em 2015, em áreas de alta tecnologia estimou-se um faturamento de 460 e 840 mil por hectare na produção de flores e folhagem de corte e flores e plantas de vasos, respectivamente. (IBRAFLOR, 2015). Além disso, promove uma rápida inclusão de trabalhadores no mercado e atua como multiplicador de empregos (CONCEIÇÃO, 2008). Em 2014, o produto interno bruto – PIB da cadeia produtiva de floricultura e plantas ornamental no Brasil movimentou R\$ 4,51 bilhões de reais. A cadeia produtiva é composta por aproximadamente 7.800 produtores, em 13.468 ha cultivados e distribui a produção em 25 mil pontos de venda (IBRAFLOR, 2015; SEBRAE, 2015). Com comercialização baseada majoritariamente no consumo interno, com alcance superior a 97 % do mercado. Além disso, é importante ressaltar que o consumidor brasileiro, disponibiliza em média apenas R\$ 26,68 ao ano para compra de flores, sendo esse valor, considerado bem abaixo do padrão internacional de consumo (IBRAFLOR, 2015). Também, indica que o mercado brasileiro caracteriza-se pelo baixo consumo per capita ano, concentrada em produtos tradicionais, datas

específicas e sempre com o objetivo do ato de presentear, evidenciando seu caráter emergente (JUNQUEIRA & PEETZ, 2011).

O mercado consumidor brasileiro demonstra grande potencial de expansão, principalmente para flores de corte e envasadas. Destacam-se nesses segmentos o crisântemo que possui elevado valor comercial e aceitação no mercado, devido à beleza e durabilidade das suas inflorescências. É a espécie envasadas mais produzida e 2º dentre as plantas cultivadas para flor de corte no Brasil, sendo a cultura das rosas a mais explorada (BARBOSA et al., 2005; JUNQUEIRA & PEETZ, 2008).

O crisântemo, *Dendranthema grandiflora* Tzvelev., faz parte da família Asteraceae, é um híbrido complexo, que segrega-se em muitas formas distintas, quando produzidas por semente. A maioria das espécies que compõem as variedades atuais tem sua origem nas regiões subtropicais da Ásia e da África, em especial a China é cultivado há 2000 anos na China, é a "flor" nacional do Japão, mas foi na Inglaterra que surgiram as primeiras variedades cultivadas de inflorescências grandes e globosas. Os Estados Unidos estão mais evoluídos no desenvolvimento de novas variedades para cultivo comercial (PETRY, 2000).

O crisântemo é uma planta herbácea perene, de caules ramificados e pubescentes, atingindo em algumas variedades mais de 1 m de altura. Suas folhas são ovais, irregularmente recortadas. A planta apresenta desenvolvimento dividido em estágio vegetativo, caracterizado por crescimento vigoroso, diferenciação contínua de novas folhas, nós e entrenós, caules e raízes e em fase reprodutiva, em que ocorre diferenciação das gemas apicais, órgãos florais, sépalas, pétalas, anteras e carpelos (BARBOSA et al., 2003). No crisântemo o que vulgarmente se conhece como flor, é na verdade uma inflorescência de capítulo, sendo a lígula, correspondente à pétala da flor feminina, o elemento realmente decorativo, as flores hermafroditas se encontram na zona central do capítulo (LAVILA, 1992).

É uma espécie classificada como planta de dia curto, ou seja, para que ocorra a indução ao florescimento e necessário que as plantas sejam expostas a um fotoperíodo menor do que um fotoperíodo crítico. Fotoperíodo crítico é o comprimento do dia capaz de alterar o comportamento da planta, mudando a sequência da formação de folhas para a formação de gemas florais (BARBOSA et al., 2012). O fator decisivo para a alteração do comportamento fisiológico é justamente o período de ausência de luz, ou seja, de escuridão. Assim, planta de dia curto (PDC) reage a noites longas; e uma planta de dia longo (PDL), por conseguinte, será aquela que necessita de noites curtas para florescer

(TAIZ & ZEIGER, 2013). Para o crisântemo, segundo Barbosa (2012), o fotoperíodo crítico é de 13 horas. Assim, quando o fotoperíodo ultrapassar esse valor, as plantas permanecerão em estágio vegetativo e se for inferior, serão induzidas ao florescimento. Deste modo, o controle do fotoperíodo na floricultura é indispensável, pois influencia a qualidade e aceitação das flores, bem como, controla o período desejado para o florescimento, podendo assim, escalonar a produção para dias especiais, de maior comercialização das flores.

O fitocromo é responsável pela regulação da floração de espécies sensíveis ao comprimento do dia, embora em pelo menos algumas espécies, tais como da Brassicaceae, fitocromos e criptocromos interagem e tem sobreposição de função (CASHMORE et al., 1999).

O fitocromo é um homodímero de dois polipeptídios idênticos, cada qual com peso molecular de 120 kDa. Cada polipeptídio tem um grupo prostético chamado de cromóforo, que está ligado a um átomo de enxofre através de uma cisteína. O cromóforo é uma cadeia aberta tetrapirólica, responsável pela absorção da luz, que causa a resposta do fitocromo. O cromóforo é submetido a uma isomerização *cis*trans no carbono 15, em resposta à absorção das luzes vermelha e vermelha-distante (ANDEL et al., 1997). Assim, o fitocromo está presente nas células na forma que absorve luz vermelha (V), referido como Pv (isômero *cis*). Essa forma inativa é convertida pela luz vermelha para a forma ativa do fitocromo que absorve luz vermelho-distante (Vd) denominada Pvd (isômero *trans*), que pode ser convertido de volta para Pv pela luz vermelho-distante, esse processo é conhecido como fotorreversibilidade (BARBOSA et al., 2012).

O controle artificial do florescimento deve ser realizado por fontes luminosas com eficiência na região de comprimento de onda 660 e 730 nm, obtido pelo uso de lâmpadas incandescentes, eficiente nessa região do espectro (BARBOSA et al., 2005). Entretanto, na lâmpada incandescente, o filamento de tungstênio é aquecido até a incandescência e grande parte da energia irradiada na região do infravermelho, gerando calor. Apenas baixa porcentagem é irradiada no espectro visível, conferindo característica de baixa conversão de energia elétrica em luminosa, 15,6 lm/W, e vida útil média de apenas 1.000 horas (KAMPF, 2005).

O sistema de iluminação artificial predominantemente usado para controle do florescimento de plantas de dia curto, são lâmpadas incandescentes de 100 W para cada 8-10 m² durante 4 horas por noite (BARBOSA et al., 2005). Porém, o consumo de energia torna o custo de produção muito oneroso, tornando necessário a busca por tipos

de iluminação que sejam mais eficazes, consumam menos energia e possuam maior vida útil, reduzindo assim os gastos com a manutenção. Além disso, a portaria interministerial nº 1.007 de 31 de dezembro de 2010, prevê níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética de máquina e aparelhos consumidores de energia, fabricados ou comercializados no Brasil. De tal modo, as lâmpadas incandescentes de uso geral com potências entre 61 e 100 Watts, que não atendam a níveis mínimos de eficiência energética, não podem mais ser produzidas ou importadas pelo Brasil. Com a proibição, segundo o Ministério de Minas e Energia os fabricantes e importadores têm até o dia 31 de dezembro de 2010 para comercializar os seus estoques. Os revendedores ao consumidor final, por sua vez, poderão comercializar estas lâmpadas até 30 de junho de 2014.

A troca das lâmpadas incandescentes no Brasil está sendo feita de forma gradativa e de acordo com a potência das unidades. As mudanças começaram em 30 de junho de 2012, com as lâmpadas de potência igual ou superior a 150 Watts. O processo de substituição deve se encerrar em junho de 2017, com a inclusão de unidades com potência inferior a 25 watts.

Outro fato que deve ser considerado na escolha da iluminação é a sua eficiência luminosa. De acordo com Pinto (2008) a eficácia luminosa de uma fonte é o quociente entre o fluxo luminoso emitido em lúmens, pela potência consumida expressa em watts. A eficácia luminosa de uma lâmpada incandescente está entre 10-15 lm/W, enquanto que, a eficácia luminosa do LED está entre 40-130 lm/W.

O Light Emitting Diode (LED) é um diodo emissor de luz que com a passagem da corrente elétrica emite luz visível através de um processo denominado de eletroluminescência. Os LEDs podem produzir luz com específico comprimento de onda, intensidade e distribuição. Com o desenvolvimento e produção de LEDs incrementa-se a iluminação e sinalização graças às seguintes vantagens: alta eficiência, longa durabilidade, flexibilidade de cores, redução do consumo de potência elétrica, circuitos eletrônicos mais simples e mais confiáveis, não geração de calor, dimensões reduzidas e baixo impacto ambiental (CARVALHO, 2007). As características de emissão específica de comprimento de onda, aliados ao baixo consumo de energia elétrica, potencializam a utilização eficiente de LED no controle de florescimento de plantas PDC, como demonstrado por Zanotelli et al. (2009) que utilizando LED de 2 W no controle de florescimento de crisântemo, obtiveram plantas com desenvolvimento

semelhante às produzidas com lâmpadas incandescentes de 100 W, com economia de 96,5% de energia elétrica.

Além de maior eficácia luminosa, a luz emitida pelo LED é monocromática (PINTO, 2008). Essa é uma característica importante desse tipo de fonte luminosa, pois possibilita que apenas o comprimento de onda requerido para que a planta responda ao fotoperíodo seja fornecido. Assim, o uso do LED no comprimento de onda do vermelho, mais precisamente com o comprimento de onda entre 630 e 640 nanômetros pode afetar o comportamento e desenvolvimento das plantas.

Embora diversos autores tenham confirmado efeitos morfológicos e fisiológicos da qualidade de luz nas plantas, as respostas variam de acordo com a espécie estudada (SCHUERGER et al., 1997; ANTONOPOLOU et al., 2004). Alguns autores afirmam que, as razões entre a luz vermelha/ vermelho distante (V: Vd) influencia o desenvolvimento das plantas. Altas razões V: VD absorvidas pelo fitocromo podem estimular respostas de alongamento do caule (LORRAIN et al., 2008), e alterações na condutância estomática (BAROLI et al., 2008). Menores espessuras foliares sob condições de sombreamento têm sido atribuídas a um aumento na razão V: VD (SCHERGER et al., 1997), contudo, essa redução também pode ser o resultado de uma redução na radiação azul (PUSHNICK et al., 1987). Baixas razões entre V: VD são detectadas pelos fitocromos como indicadores de competição pela luz. Essa percepção inicia uma resposta que consiste num alongamento do caule, permitindo assim, o crescimento dessas plantas de forma apropriada ao seu ambiente (ALMEIDA & MUNDSTOCK, 2001).

Existem evidências de que hormônios de plantas sejam modulados diretamente pela luz e pela ação do fitocromo (MARKS & SIMPSON, 1999). Entre esses reguladores, é possível citar a giberelina e os brassinosteróides, ambos conhecidos por influenciarem o alongamento celular e, posteriormente, afetarem a divisão das células (TAIZ & ZIEGER, 2013). Rajapske et al. (1999) ao pesquisar o desenvolvimento de plantas crescidas sob coberturas plásticas que absorviam luz nas regiões do vermelho e vermelho distante, observaram um alongamento do caule sob radiação vermelho-distante e uma supressão do alongamento na região do vermelho. Estes resultados, segundo os autores, sugeriram que os efeitos foram mediados por giberelinas, já que a conversão de giberelina na forma inativa para a forma ativa é inibida pela luz vermelha e promovida pelo vermelho-distante, sendo este processo controlado pelo fitocromo. Os fatores de interação do fitocromo (PIF, phytochrome-interacting factors) são

moduladores negativos da fotomorfogênese e estão sujeitas a regulação negativa pelo fitocromo. O antagonismo entre as funções de PIF e do fitocromo permite às plantas a adequada resposta de desenvolvimento ao ambiente de luz. (TAIZ & ZIEGER, 2013)

A luz vermelha é importante para o desenvolvimento do aparato fotossintético das plantas e pode aumentar o acúmulo de amido em muitas espécies por inibição da translocação de fotoassimilados para fora das folhas, aumentando a concentração de carboidratos dentro dessas (SAEBO et al., 1995). Dale (1988) afirma, ainda, que o fitocromo pode estar envolvido no controle de genes ligados à fotossíntese, codificando a síntese de clorofilas *a* e *b*, pequenas subunidades da rubisco, entre outros aparatos do maquinário fotossintético.

O controle do florescimento com iluminação artificial de LED apresenta grande potencial na produção comercial de crisântemo, pois reduz os custos de produção por meio do menor consumo de energia elétrica. Entretanto, é necessário investigar o comportamento e desenvolvimento de plantas submetidas a diferentes intensidades e ciclos luminosos de lâmpadas de LED; determinar a menor intensidade e ciclo luminoso que efetivamente inibe o florescimento; observar a relação entre intensidade e ciclo de luz no controle do florescimento de crisântemo. Permitindo assim, apontar parâmetros que auxiliem no dimensionamento de um sistema de iluminação de LED que proporcione o controle eficiente do florescimento com ótima qualidade em plantas de crisântemo.

Capítulo 1

Intensidade luminosa de lâmpadas diodo emissor de luz no controle de florescimento de crisântemo em vaso

1.1 Introdução

O fotoperíodo induz e influencia o desenvolvimento de flores em plantas, que são classificadas em distintos grupos de resposta. A resposta ao fotoperíodo é determinada principalmente pela duração da noite, e pode ser referido como duração crítica da noite (VINCE-PRUE, 1975). Plantas que florescem quando a noite é superior ao período crítico da noite são classificadas como plantas de dia curto (PDC), ao contrário, plantas de dia longo (PDL) florescem quando o comprimento da noite é inferior a duração crítica da noite. Espécies que florescem independentemente do fotoperíodo são descritos como dia-neutro (VINCE-PRUE, 1975). Diversas espécies de plantas de valor ornamental foram classificadas de acordo com sua resposta de florescimento em relação ao fotoperíodo (DOLE & WILKINS, 2004). Exemplos de plantas de dia longo (DL) incluem, *Gipsofila* (MUNIZ et al., 2012) e *Hipérico* (BARBOSA et al., 2012), plantas de dia curto (DC) incluem poinsetia e crisântemo (BARBOSA et al., 2012). O crisântemo, *Dendranthema grandiflora* Tzvelev, apresenta florescimento induzido sob fotoperíodo inferior à 13 horas (BARBOSA et al., 2012; TAIZ & ZEIGER, 2013).

A planta, através do complexo pigmento/proteína presente nas folhas denominado fitocromo, tem a capacidade de perceber alteração no comprimento do dia/noite, e modificar seu período fisiológico vegetativo para reprodutivo, ocorrendo assim o florescimento (BARBOSA et al., 2012; TAIZ & ZEIGER, 2013). A capacidade de manipular o fotoperíodo permite aos agricultores produzir crisântemo com eficiência durante o ano todo. Esta manipulação do fotoperíodo pode reduzir os custos de produção, e o tempo de produção e melhorar a qualidade geral da cultura (RUNKLE & HEINS, 2006). Quando o fotoperíodo natural é curto, Barbosa et al (2012) recomendam interrupção da noite com iluminação de lâmpadas incandescentes, até que o fotoperíodo desejado seja atingido.

A intensidade da luz necessária para a quebra da noite eficaz é, tipicamente, muito baixa, geralmente menor que $1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (WHITMAN et al., 1998). A interrupção da noite é fornecida geralmente de forma contínua durante o período de iluminação. Entretanto, a iluminação intermitente, ou cíclica, pode ser também

eficiente. A Iluminação cíclica pode reduzir o consumo de energia através da redução da quantidade de tempo que as lâmpadas operam ou o número de lâmpadas necessárias para iluminar a produção. Lâmpadas incandescentes ligadas por seis minutos a cada meia hora, durante 4 horas, a depender da cultura, foi tão eficaz como iluminação contínua (RUNKLE et al, 1998;. BLANCHARD & RUNKLE, 2010). Blacque`Re et al (2002) relataram que lâmpadas incandescentes acionadas durante 10 min a cada 30 min com intensidade de $1,7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ foram eficientes no controle do florescimento de crisântemo. Entretanto, lâmpadas incandescentes têm baixa eficiência na transformação de energia elétrica em luminosa. O prolongamento do fotoperíodo para controle de florescimento em plantas de dia curto, pode ser realizada por diferentes fontes de luz incluindo-se a fluorescente (CANHAM, 1966), vapor de sódio (BLANCHARD et al., 2009) e recentemente diodos emissores de luz (LED) (OCHIAI et al., 2015).

As lâmpadas fluorescentes e vapor de sódio apresentam restrição de uso na forma cíclica porque sua vida útil é reduzida com frequentes acionamentos (BICKFORD & DUNN, 1972; SPAARGAREN, et al., 2001). Além de, baixo tempo de vida útil, elevado consumo elétrico e espectros de comprimento de onda menos adequado para controle do florescimento em plantas (ILIEVA et al., 2010).

Os diodos emissores de luz (LEDs) apresentam uma serie de vantagens em comparação aos sistemas de iluminação tradicional como alta eficiência, longa durabilidade, flexibilidade de cores, redução do consumo de energia elétrica, circuitos eletrônicos mais simples e mais confiáveis, não geração de calor, dimensões reduzidas e baixo impacto ambiental (CARVALHO, 2007; MASSA et al., 2008). Essas características viabiliza a iluminação de LED na produção agrícola. Várias pesquisas mostraram a influencia do led nas características qualitativas e quantitativas do crescimento e morfogênese de espécies de plantas (HORI et al., 2011; YANG et al., 2012; LIAO et al., 2014; OCHIAI et al., 2015).

As características de emissão específica de comprimento de onda, aliado ao baixo consumo de energia elétrica, potencializa a utilização eficiente de LED no controle de florescimento de plantas PDC, como demonstrado por ZANOTELLI (2009) utilizando LED de 2 W no controle de florescimento de crisântemo, obteve plantas com desenvolvimento semelhante ao produzidos com lâmpadas incandescentes de 100 W e obteve economia de 96,5% no consumo de energia elétrica. O controle do florescimento com iluminação artificial de LED apresenta grande potencial na produção comercial de crisântemo, pois reduz os custos de produção por meio do menor consumo de energia elétrica.

Entretanto, é necessário investigar o comportamento e desenvolvimento de plantas submetidas a diferentes intensidades e ciclos luminosos de lâmpadas de LED; verificar se o aumento da intensidade luminosa diminui o ciclo de luz necessário para inibição do florescimento de crisântemo; determinar a altura das lâmpadas de led em relação as plantas, verificar a menor intensidade e ciclo luminoso que efetivamente inibe o florescimento. Permitindo assim, apontar parâmetros que auxiliem no dimensionamento adequado da potencia da lâmpada de LED que seja eficiente no controle do florescimento com ótima qualidade em plantas de crisântemo de vaso variedade “Rage”

1.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa em Viçosa-MG (20°45’S, 42°52’, altitude 690 m), no período de 10 de janeiro a 21 de abril de 2015 com crisântemo cultivar “Rage”, grupo margarida, de inflorescências com coloração vermelha, com tempo de reação de 9 semanas. As mudas foram cedidas pela empresa BrasilFlor.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2, utilizando-se quatro níveis de ciclos de luz/escuro (7’/23’; 15’/15’; 23’/7’; 30’/0’min luz/escuro) e dois níveis de distâncias vertical dos vasos em relação à fonte luminosa (1,0 e 2,0 m), com quatro repetições. Os ciclos de luz/escuro foram obtidos utilizando-se lâmpadas de LED, com potência de 18 W, com ângulo de projeção de 90° e com pico de comprimento de onda no vermelho (Protocolo de depósito de patente 4262 Div. Reg. INPI 04/07/2008). As intensidades luminosas projetadas horizontalmente no solo pelas lâmpadas de LED foram mensuradas através de radiômetro modelo Quartum 46300 (LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska-USA). As intensidades luminosas obtidas nas distâncias vertical de 1,0 e 2,0 metros das lâmpadas em relação ao solo foram de 2,0 e 0,6 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Utilizaram-se duas testemunhas: plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes (100 W) entre 22:00 e 2:00, e plantas sem iluminação artificial. Todas as parcelas foram isoladas, às 17:00, por lonas pretas de 150 μm a altura de 2,20 m em relação à bancada. Pela manhã, às 7:00, as lonas foram recolhidas, fornecendo 10 horas de luz natural.

Quatro mudas foram plantadas em vasos de polietileno com capacidade de 1,1 L (n° 14), o qual representou uma unidade experimental. Os vasos foram preenchidos com

substrato comercial Tropstrato HThortaliça, com densidade base seca de 200 Kg/m³, capacidade de retenção de água de 130% (p/p), umidade de 60% (p/p), pH de 5,8 e condutividade elétrica de 0,5 mS/cm. Após plantio os vasos foram levados para bancadas de 1,20 m de altura e mantidos sob dias longos, conforme os tratamentos.

O desponte apical ocorreu 10 dias após o plantio, para a quebra da dominância apical e favorecimento da emissão de brotos laterais. As plantas foram mantidas sob dia longo durante 36 dias, sendo em seguida cultivadas sob dia curto até o fim do ciclo. Os diferentes ciclos de luz intermitente foram obtidos através de um temporizador digital modelo TE-2163 (Decorlux, Curitiba) de 8 programações, das 22:00 as 2:00.

A fertirrigação foi feita manualmente fornecendo-se 100 ml de solução nutritiva por vaso, conforme (Muniz et al., 2009), três vezes durante a semana alternado com a irrigação. Durante o ciclo de cultivo, a temperatura e umidade relativa do ar foram registradas com auxílio de um dataLogger modelo HT500 (Instrutherm, São Paulo). A temperatura no interior da casa de vegetação apresentou valores médios de 26°C diurna e 16°C noturna, com valores máximo e mínimo de 39 °C e 12°C, respectivamente. A umidade relativa do ar variou entre 55 e 96 %. Para o cultivo comercial de crisântemo Barbosa et al (2012) recomendam temperatura entre 23 a 25°C diurna e em torno de 18°C noturna. As temperaturas médias registradas no experimento indicam que essa variável climática foi adequada ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

As variáveis analisadas foram: período de indução floral, compreende os dias entre plantio e o surgimento do botão floral; ciclo de cultivo, compreende os dias entre o plantio e a colheitas das plantas; altura de vaso, comprimento entre a base do vaso e a flor mais distante verticalmente; números de hastes, folhas e inflorescências por planta, número de entrenós por haste, comprimento do 3º entrenó, comprimento de haste, diâmetro de inflorescência, massa seca de folha, inflorescência, haste e total por planta. As variáveis, exceto período de indução floral, foram avaliadas quando os vasos apresentaram 50% das inflorescências abertas. Considerou-se inflorescência aberta quando a primeira fileira de lígulas estava perpendicular à haste floral.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância e de regressão. Na análise de regressão foram testados os efeitos linear e quadrático do modelo linear $Y = b_0 + b_1C + b_2C^2 + e$, sendo C o ciclo de luz/escuro (C = 7, 15, 23 e 30). Foram selecionadas as equações com efeito significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade,

com significado biológico e com maior coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj). Utilizou-se o Software SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1 para as análises estatísticas.

1.3 Resultado e Discussão

Houve interação significativa entre ciclo de luz/escuro e distância vertical da fonte de luz para comprimento de haste ($p=0,039$). A variável ciclo de cultivo apresentou efeito significativo para ciclo de luz/escuro ($p=0,001$) e distância vertical da fonte de luz ($p=0,047$). Houve efeito significativo para ciclo de luz/escuro nas variáveis, período de indução floral ($p=0,001$), número de haste ($p=0,001$), número de entrenó ($p=0,001$) e número de inflorescência ($p=0,001$). Não houve efeito significativo da interação nem dos fatores isolados para altura de vaso ($p=0,71$), número de folha ($p=0,74$), comprimento do 3º entrenó ($p=0,9$), diâmetro de inflorescência ($p=0,48$), massa seca de haste ($p=0,52$) e massa seca total ($p=0,31$).

O período de indução floral mostrou comportamento linear, crescente em relação ao ciclo de luz/escuro, com valores estimados de 39,28 e 53,80 dias sob ciclos de luz/escuro de 7'/23' e 30'/0' minutos, respectivamente sob qualquer distância vertical da fonte de luz. Plantas cultivadas sem iluminação artificial ou sob lâmpadas incandescentes exibiram períodos de indução floral de 14,18 e 52,38 dias, respectivamente (Figuras 1.1 e 1.2), semelhantes aos observados por Ochiai et al (2015), que ao produzirem 12 variedades de crisântemo ("Cent west," "Sei eige," "Sei opti," "Sei no nami," "Sei no makura," "Jimba," "Remidas," "Sei elsa," "Seiko komei," "Seiko no makoto," "Sei yukino," e "Sei tsudoi.") obtiveram controle do florescimento das plantas durante 6 semanas sob noites interrompidas por período de 6 horas, utilizando lâmpadas de led com intensidades entre 0,1 - 0,6 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Entretanto, os pesquisadores Blanchard & Runkle (2009) ao utilizar lâmpadas de sódio de alta pressão (HPS) na produção de duas variedades de crisântemo, observaram 90% de floração nas plantas sob intensidade luminosa inferior a 0,8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, o que demonstra que além da duração do ciclo e intensidade da luz fornecida, a qualidade da luz é importante. Os resultados desta pesquisa demonstram que o aumento na intensidade luminosa, de 0,6 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para 2,0 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, não reduziu o ciclo de luz/escuro necessário para inibição do florescimento de plantas de crisântemo.

O comprimento de haste das plantas cultivadas sob lâmpadas de led a 2,0 metros de distância vertical dos vasos apresentou comportamento linear positivo em relação ao ciclo de luz/escuro com valores estimados de 46,74 e 55,68 cm para os ciclos de 7'/23' e 30'/0' respectivamente; já plantas cultivadas sob lâmpadas de led a distância vertical de 1,0 metro apresentaram comportamento quadrático com valores estimados de 44,45, 46,74 e 49,73 cm para os ciclos de 7'/23', 30'/0' e 23'/7', respectivamente (Figura 1.3). Plantas cultivadas sem e com iluminação artificial de lâmpadas incandescentes mostraram comprimento de haste de 20,98 cm e 52,86 cm, respectivamente. As plantas submetidas à intensidade luminosa de $2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em ciclos de luz/escuro de 30'/0' apresentaram redução de 16 e 11,5% no comprimento médio das hastes em relação às cultivadas em lâmpadas de led com intensidade de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e as lâmpadas incandescentes, respectivamente. Os resultados demonstram que a manipulação da qualidade espectral da luz e sua intensidade permite monitorar o desenvolvimento e crescimento de crisântemo.

Quando as plantas estão competindo por luz, como sob um dossel, a taxa V: Vd é menor, provoca respostas de evasão a sombra controlada pelo fitocromo e causa o aumento do caule, crescimento da folha e redução da ramificação (CERDÁN & CHORY, 2003; TAIZ & ZEIGER, 2013). Alternativamente, iluminação artificial da noite com lâmpadas de led com estreita faixa espectral tem uma alta taxa de V:Vd e pode inibir o alongamento do caule. Craig & Runkle (2013) observaram menor altura das plantas de crisântemo e dália 'Figaro' sob uma quebra da noite com uma alta proporção de luz vermelha (V: Vd de 2,38 ou maior) em relação as plantas cultivadas sob uma moderada taxa de V: Vd (0,66 e 1,07). Já o comprimento dos entrenós de *Petunia ·hybrida* e *Rudbeckia hirta* foram significativamente menor quando interrupção da noite de 4 horas foi fornecido por lâmpadas compactas (V: Vd = 8,5) do que por lâmpadas incandescentes (V: Vd = 0,6) (RUNKLE et al., 2012). Yamada et al (2011), observaram que o comprimento dos entrenós de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) foram menores sob interrupção da noite com um taxa de V: Vd de 5 a 10 do que a taxa de 0,5 a 1. Segundo Lurrain e colaboradores (2008) sobre uma alta razão de V:Vd as proteínas do fitocromo concentram-se no núcleo e inativam as proteínas PIF (phytochrome-interacting factors), por meio da sua fosforilação, levando à sua ubiquitinação e degradação. Na ausência de proteínas PIF, os genes necessário para expansão celular não são expressos e o crescimento vegetal é reprimido. Assim, a manipulação da iluminação suplementar em relação a qualidade espectral e intensidade

luminosa representa uma alternativa no controle da altura de vaso em relação ao métodos químicos.

O número de hastes por planta de crisântemo apresentou comportamento linear positivo em relação ao ciclo de luz/escuro (Figura 1.4). Plantas sob ciclos de luz/escuro de 7'/23' e 30'/0' produziram 2,48 e 3,36 hastes por planta, respectivamente. Plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes apresentaram 3,68 hastes por planta, resultado análogo encontrado por Garde et al. (2013), que constataram a produção de 3,76 hastes por planta, ao avaliar intensidade luminosa e data de desponte na variedade "Eliot". O número de entrenós por haste apresentou comportamento quadrático em relação ao ciclo de luz/escuro com 26,48 entrenós por haste em ciclos de luz/escuro de 23'/7' minutos, plantas cultivadas sem iluminação artificial e sob lâmpadas incandescentes obtiveram 10,63 e 25,63 entrenós por haste, respectivamente (Figura 1.5). Nesta pesquisa, não foi observada a influência da intensidade luminosa no número de entrenós por planta. Pode considerar que a intensidade de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ é suficiente para saturar a resposta do fitocromo. De forma diferente Garde et al. (2013), observaram que maior intensidade luminosa proporcionou maior número de entrenós, em crisântemo 'Eliot'.

O número de inflorescências ajustou-se a equação quadrática em relação ao ciclo de luz/escuro com valor máximo de 31,30 inflorescências por plantas em ciclos de luz/escuro de 23'/7' minutos (Figura 1.6). Plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes ou sem iluminação artificial produziram em média 31,94 e 19,63 inflorescências por planta, respectivamente. Craig et al. (2013), ao cultivar crisântemo da variedade Adiva Purple sob lâmpadas de led com intensidade luminosa entre 1,3 e $1,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ obtiveram 21,0 inflorescências por planta. O número de inflorescências por vaso é considerado importante parâmetro de qualidade. Quanto maior o número de inflorescências por vaso, melhor a formação e preenchimento do buquê. Não houve efeito dos tratamentos para o parâmetro diâmetro da inflorescência, que apresentou valor médio de 59,83 mm, valor menor que às plantas cultivadas sem iluminação artificial que produziram diâmetro médio de 66,52 mm. Entretanto, plantas cultivadas sob lâmpadas de led apresentaram maior número de inflorescências por planta. Isso demonstra que o menor diâmetro da inflorescência obtido sob lâmpadas de led, não está relacionado à qualidade espectral das lâmpadas, mas, à maior quantidade de inflorescências produzidas por essas plantas. Resultados semelhantes foram exibidos

por Brum et al. (2007), que observaram aumento no número e redução no diâmetro de inflorescências em crisântemo ‘Papiro’ em vaso.

O ciclo de cultivo foi influenciado significativamente por ciclo de luz/escuro e distância vertical da fonte de luz, mas não houve interação entre os fatores. As plantas cultivadas a 1 ou 2 metros de distância vertical da fonte de luz ajustaram a equação quadrática para ciclo de cultivo em relação ao ciclo de luz/escuro (Figura 1.7). Plantas cultivadas sob o ciclos de luz/escuro de 30’/0’ à distâncias verticais de 1 e 2 metros da fonte de luz atingiram ciclos superior de 105,50 e 104,25 dias, respectivamente (Figura 1.7), semelhantes às plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes que apresentaram 104,5 dias de ciclo. O ciclo de cultivo é parâmetro de elevada importância no planejamento de produção de crisântemo de vaso, pois determina as datas de comercialização em épocas comemorativas, como Dia das mães, Dia dos namorados e Dia de finados.

A massa seca das folhas não ajustou equação de regressão linear aos ciclos de luz/escuro e distância vertical da fonte de luz e obteve valor médio de 3,80 g por planta. Enquanto, plantas sem iluminação artificial e sob lâmpadas incandescentes produziram 1,02 e 4,20 g de massa seca de folhas por planta, respectivamente. Resultados próximos foram obtidos por Garde et al. (2013), que ao cultivar crisântemo da variedade “Eliot” sob intensidade luminosa de 157 lux, alcançaram 2,77 g de massa seca de folhas por planta. As plantas cultivadas sob lâmpadas de led em diferentes ciclos de luz/escuro e distâncias verticais da fonte de luz não apresentou ajuste da equação de regressão linear para o parâmetro massa seca de inflorescência com média geral de 3,09 g, valor 100% superior ao valor obtido por plantas cultivadas sem iluminação artificial (1,52 g).

Não houve efeito significativo dos tratamentos no parâmetro massa seca de haste com valor médio de 6,15 g por planta. Entretanto, para o parâmetro comprimento de haste houve interação significativa entre os parâmetros estudados, com comprimentos diferentes para plantas cultivadas em ciclos de luz/escuro de 30’/0’ minutos em distância vertical de 1 e 2 metros da fonte de luz com valores de 48,87 cm e 55,42 cm, respectivamente. Plantas com diferentes comprimentos, mas com médias de peso iguais, revelam que ao serem cultivadas em intensidades luminosas mais altas apresentam aumento no diâmetro da haste.

Não houve influência significativa dos fatores estudados na massa seca total de plantas de crisântemo, cujo valor médio foi de 13,04 g por planta. Resultados semelhantes foram obtidos por Garde et al. (2013) que não observaram diferenças na

massa seca total de plantas de crisântemo da variedade “Eliot” cultivadas sobre diferentes intensidades luminosas e datas de desponete. Evidencia-se que a intensidade luminosa usada no controle de florescimento age principalmente na percepção do fitocromo, tendo pouca intensidade para a realização da fotossíntese.

1.4 Conclusão

Intensidade de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ é suficiente para inibir o florescimento de crisântemo de vaso ‘Rage’. O aumento da intensidade luminosa de 0,6 para $2,0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ não reduziu o ciclo de luz necessário para inibição do florescimento das plantas. Intensidade de $2,0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em ciclos de luz 30’/0’ minutos diminuiu o comprimento final das hastes de crisântemo de vaso variedade ‘Rage’. As lâmpadas a 2 metros de distância vertical das plantas em ciclos de luz 23’/7’ demonstraram efetivo inibição do florescimento de crisântemo, e maior número de inflorescência por planta, característica fundamental para qualidade final do vaso de crisântemo.

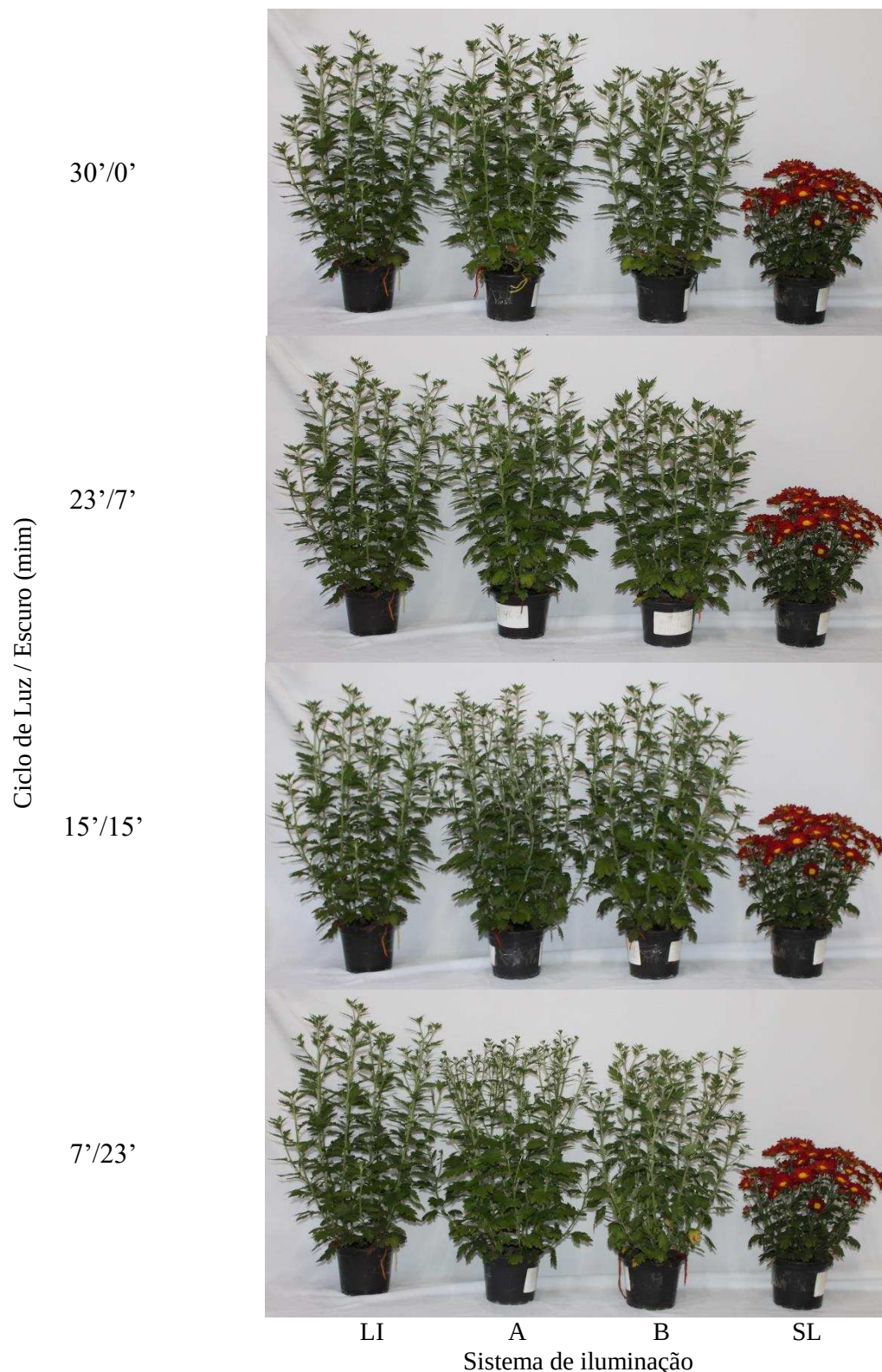


Figura 1.1. Plantas de crisântemo 'Rage' cultivadas sob lâmpadas de led em diferentes ciclos de luz/escuro (30'/0', 23'/7', 15'/15', 7'/23') e duas distâncias verticais da fonte de luz: (A) 2 metros e (B) 1 metro, sob lâmpadas incandescentes (LI) e sem iluminação artificial (SL) ao 60 dias de cultivo.

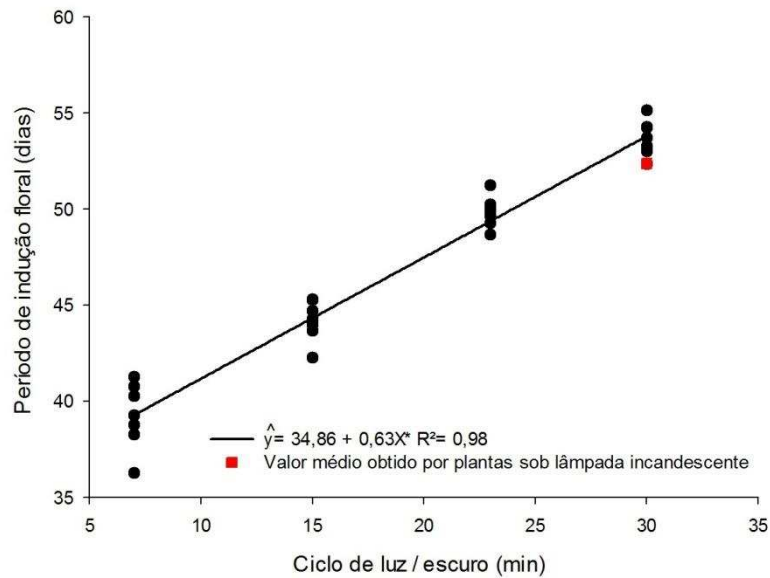


Figura 1.2: Período de indução floral (dias) de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X). *, ** teste F significativo a 1 e 5%.

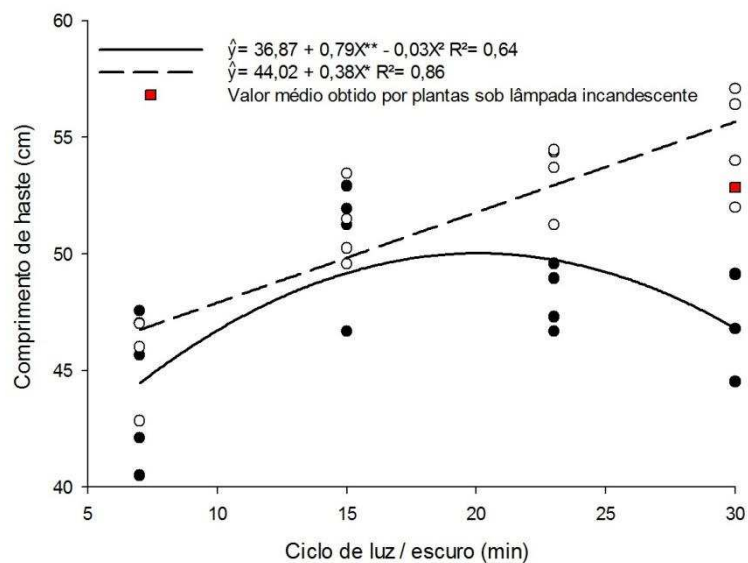


Figura 1.3: Comprimento da haste (cm) de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X). (—●—) Lâmpadas de LED a 1 metro de distância vertical dos vasos; (—○—) Lâmpadas de LED a 2 metros de distância vertical dos vasos; *, ** teste F significativo a 1 e 5%.

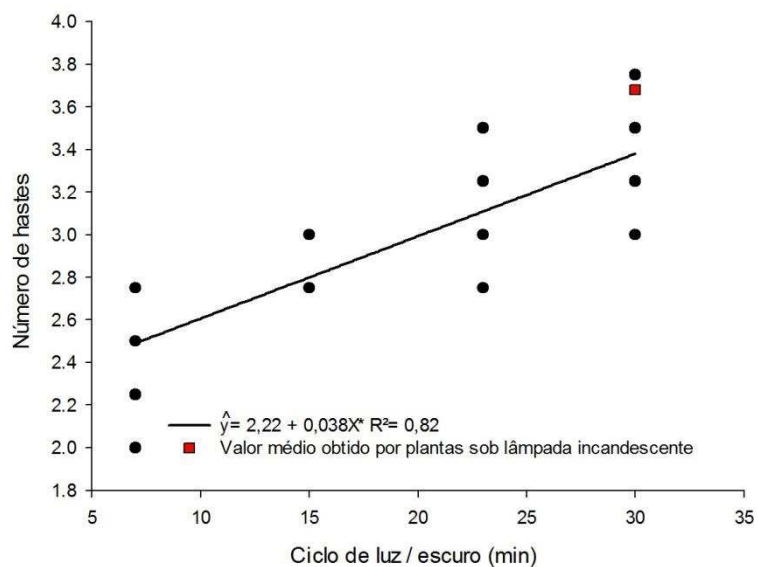


Figura 1.4: Número de hastes de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X). *, ** teste F significativo a 1 e 5%.

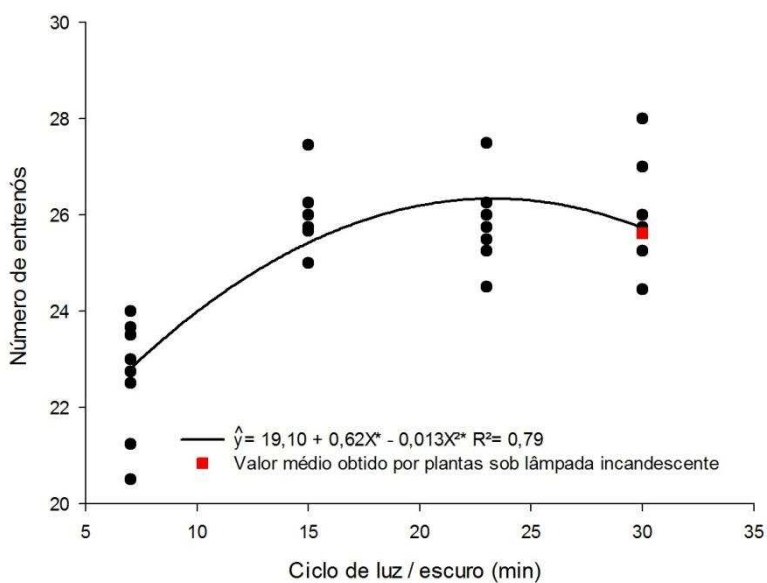


Figura 1.5: Número de entrenós de Crisântemo ‘Rage’ ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X). *, ** teste F significativo a 1 e 5%.

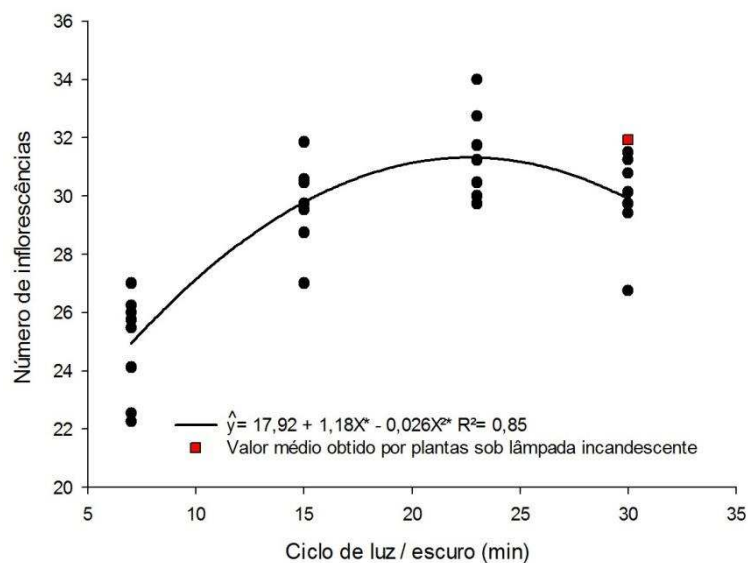


Figura 1.6: Número de inflorescências de Crisântemo 'Rage' ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X). *, ** teste F significativo a 1 e 5%.

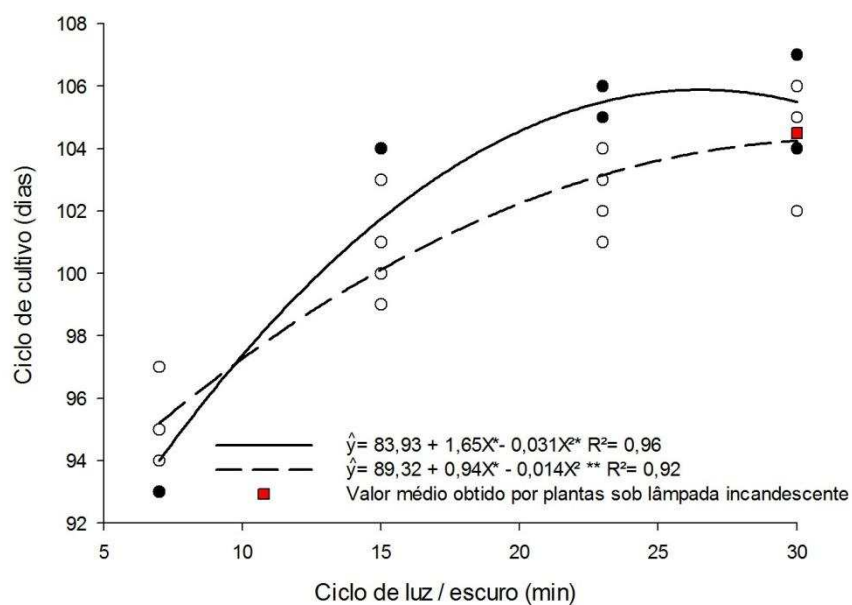


Figura 1.7: Ciclo de cultivo (dias) de Crisântemo 'Rage' ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (X).

(—●) Lâmpadas de LED a 1 metro de distância vertical do vasos; (---○) Lâmpadas de LED a 2 metro de distância vertical do vasos; *, ** teste F significativo a 1 e 5%.

CAPÍTULO 2

Iluminação intermitente de lâmpadas diodo emissor de luz no controle do florescimento de crisântemo de vaso

2.1 Introdução

O crisântemo, *Dendranthema grandiflora* Tzvelev, ocupa as principais posições dentre as espécies envasadas no Brasil, tem elevado valor comercial e grande aceitação no mercado, devido à beleza e durabilidade das suas inflorescências (JUNQUEIRA & PEETZ, 2008; SEBRAE, 2015). É planta herbácea perene, classificada como planta de dia curto (PDC), cujo florescimento induzido sob fotoperíodo é inferior a 13 horas (BARBOSA et al., 2012; TAIZ & ZEIGER, 2013).

A planta, através das folhas, tem capacidade de perceber alteração no comprimento do dia/noite. O comprimento do fotoperíodo percebido pela folha é processado em um complexo pigmento/proteína denominado fitocromo, que apresenta taxa de absorção máxima de luz no comprimento de onda 660 e 730 nanômetros (nm) equivalente à faixa de luz no espectro vermelho e vermelho-distante, respectivamente (TAIZ & ZEIGER, 2013). O pigmento P660 ou Pv constitui a forma de proteína que absorve a radiação 660 nm de comprimento de onda, na região do vermelho, enquanto a forma P730 ou Pvd absorve a radiação de 730 nm de comprimento de onda, região do vermelho distante (BARBOSA et al., 2012). A irradiação com luz natural ou luz de alta intensidade mista (V e Vd) faz ciclos de interconversão do fitocromo entre P660 e P730. Segundo Bernier et al, (1981) a planta ao fim do dia apresenta o fitocromo predominantemente na forma P730. Entretanto, com algumas horas de escuro, a planta torna-se sensível a luz vermelha, indicando que P730 reverte, em grande parte da planta para P660, espontaneamente. Assim, o controle do florescimento em espécies de PDC, através da interrupção da noite, torna-se efetivo somente quando a dose de luz aplicada for suficiente para saturar a fotoconversão do P660 (Pv) em P730 (Pvd) (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O controle do fotoperíodo é importante na floricultura, pois possibilita o controle do florescimento em plantas sensíveis ao comprimento do dia, podendo assim, direcionar a produção para datas de maior comercialização das flores, bem como, influenciar na qualidade e aceitação das flores. A suplementação luminosa no controle do florescimento pode ser fornecida de forma contínua por 4 horas de luz durante a noite. A forma intermitente também é efetiva, através de períodos de luz/escuro cíclicos

de 6'/24', 7,5'/22,5' ou 10'/20' minutos, respectivamente, entre 22:00 e 2:00. A intensidade luminosa necessária é 7 a 10 fc, que corresponde a 77 – 110 lux ou 0,30 – 0,43 W/m² de radiação fotossintética ativa (PAR) (BARBOSA et al., 2012). Atualmente, os produtores fornecem tal intensidade luminosa com uso de lâmpadas incandescentes que têm baixa eficiência na transformação de energia elétrica em luminosa. A fim de aumentar a eficiência no uso da energia elétrica, o governo brasileiro proibiu de forma gradativa a partir de 2012 a importação, fabricação e venda de lâmpadas incandescentes (PLANALTO, 2013). Portanto, faz-se necessário buscar soluções alternativas de iluminação artificial para controle do florescimento.

Recentemente, diodo emissor de luz (LED) foi introduzido no processo produtivo como iluminação suplementar, por ter inúmeras vantagens em comparação com os sistemas de iluminação tradicional: alta eficiência, longa durabilidade, flexibilidade de cores, redução do consumo de potência elétrica, circuitos eletrônicos mais simples e mais confiáveis, não geração de calor, dimensões reduzidas e baixo impacto ambiental (MASSA et al., 2008). As características de emissão específica de comprimento de onda, aliadas ao baixo consumo de energia elétrica, potencializam a utilização eficiente de LED no controle de florescimento de PDC, pois influenciam características qualitativas e quantitativas do crescimento e morfogênese de várias espécies de plantas (HEO et al., 2003; HORI et al., 2011; YANG et al., 2012; YAMADA et al., 2011) inclusive do crisântemo (OCHIAI *et al.*, 2015). Desta forma, pesquisas para avaliar os efeitos de lâmpadas de led no controle de florescimento de plantas de dia longo e dia curto, principalmente na cultura do crisântemo, vêm sendo realizadas no Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. Entretanto, há necessidade de investigar o comportamento e desenvolvimento de plantas submetidas a diferentes intensidades e ciclos luminosos de lâmpadas de LED; observar a relação entre intensidade e ciclo de luz no controle do florescimento de crisântemo; determinar a menor intensidade e ciclo luminoso que efetivamente inibe o florescimento de crisântemo de vaso da variedade “Rage”. Permitindo assim, apontar parâmetros que auxilie no dimensionamento de um sistema de iluminação de LED que proporcione o controle eficiente do florescimento com ótima qualidade em plantas de crisântemo

2.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFV em Viçosa-MG (20°45'S, 42°52', altitude 690 m), no período de 21 de julho a 21 de outubro de 2014 com cultivar “Rage”, grupo margarida, de inflorescências com coloração vermelha, com tempo de reação de 9 semanas, cedidas pela empresa BrasilFlor.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas de 4 ciclos de luz/escuro (7'/23'; 15'/15'; 23'/7' e 30'/0' minutos) por 4 horas. As sub parcelas foram constituídas de 5 distâncias horizontais dos vasos em relação a fonte luminosa (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 m), com quatro repetições. Os ciclos de luz/escuro foram obtidos utilizando-se lâmpadas de LED, na potência de 18 W, com ângulo de projeção de 90° e com pico de comprimento de onda no vermelho (Protocolo de depósito de patente 4262 Div. Reg. INPI 04/07/2008). As intensidades luminosas projetadas horizontalmente no solo pelas lâmpadas de LED foram mensuradas através de radiômetro modelo Quatum 46300 (LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska-USA) e os valores expressos em $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. As intensidades luminosas obtidas nas distâncias 0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 m foram de 0,60, 0,53, 0,35, 0,20 e 0,09 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Utilizaram-se duas testemunhas: plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes (100 W) entre 22:00 e 2:00, e plantas sem iluminação artificial. Todas as parcelas foram isoladas, às 17:00, por lonas pretas de 150 μm a altura de 2,20 m em relação à bancada. Pela manhã, às 7:00, as lonas foram recolhidas, fornecendo 10 horas de luz natural.

Quatro estacas enraizadas foram plantadas em vasos de polietileno com capacidade de 1,1 L (n° 14), que representou uma unidade experimental. Os vasos foram preenchidos com substrato comercial Tropstrato HThortaliça, com densidade de 200 Kg/m³, capacidade de retenção de água de 130% (p/p), umidade de 60% (p/p), pH de 5,8 e condutividade elétrica de 0,5 mS/cm. Após plantio os vasos foram levados para bancadas de 1,20 m de altura e mantidos sob dias longos, conforme seus respectivos tratamentos.

O desponte apical ocorreu 10 dias após o plantio, para a quebra da dominância apical e favorecimento da emissão de brotos laterais. As plantas foram mantidas sob dia longo durante 26 dias, sendo em seguida cultivadas sob dia curto até o fim do ciclo. Os diferentes ciclos de luz intermitente foram obtidos através de temporizador digital modelo TE-2163 (Decorlux, Curitiba) de 8 programações, das 22:00 as 2:00.

A fertirrigação foi feita manualmente fornecendo-se 100 ml de solução nutritiva por vaso, conforme MUNIZ et al., 2009, três vezes durante a semana alternada com a irrigação. Durante o ciclo de cultivo, a temperatura e umidade relativa do ar foram registrados com auxílio de um dataLogger modelo HT500 (Instrutherm, São Paulo). A temperatura no interior da casa de vegetação apresentou valores médios de 28°C diurna e 16°C noturna com valores máximo e mínimo de 38 e 10°C, respectivamente. A umidade relativa do ar variou de 40 a 95%. Para o cultivo comercial de crisântemo Barbosa (2012) recomenda temperatura entre 23 a 25°C diurna e em torno de 18°C noturna. As temperaturas médias registradas no experimento indicam que essa variável climática foi adequada ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

As variáveis analisadas foram: período de indução floral, que compreende os dias entre plantio e o surgimento do botão floral; ciclo de cultivo, compreende os dias entre o plantio e a colheita das plantas; altura de vaso, comprimento entre a base do vaso e a flor mais distante verticalmente; números de haste, folha e inflorescências por planta, número de entrenós por haste, comprimento do 3º entrenó, comprimento de haste, diâmetro de inflorescência, massa seca de folha, inflorescência, haste e total por planta. As variáveis, exceto período de indução floral, foram avaliadas quando os vasos apresentaram 50% das inflorescências abertas. Considerou-se inflorescência aberta quando a primeira fileira de lígulas estava perpendicular à haste floral.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância e regressão polinomial. Na análise de regressão foram testados os efeitos linear e quadrático do modelo polinomial $Y = b_0 + b_1C + b_2D + b_3C^2 + b_4D^2 + b_5CD + e$, sendo C o ciclo de luz/escuro e D a distância da fonte de luz. Foram selecionadas as equações com efeito significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade, com significado biológico e com maior coeficiente de determinação (R^2). Utilizou-se o Software SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1 para as análises estatísticas.

2.3 Resultados e Discussão

Houve interação significativa entre ciclo de luz/escuro e distância horizontal da fonte de luz para os parâmetros, período médio de indução floral ($p=0,0001$), comprimento médio de haste ($p=0,0001$), altura de vaso ($p=0,0128$), número médio de folhas ($p=0,0001$), diâmetro médio de inflorescência ($p=0,0001$), ciclo de cultivo ($p=0,0001$), massa seca de folha ($p=0,0001$), inflorescência ($p=0,0001$), haste

($p=0,0001$) e total ($p=0,0001$). Os parâmetros número médio de haste por planta e número de inflorescências por planta apresentaram efeito significativo para ciclo de luz/escuro ($p=0,0001$) e distância da fonte de luz ($p=0,0001$) comprimento do 3º entrenó. Na Figura 2.2 estão apresentados os gráficos e as respectivas equações de regressão dos parâmetros estudados. Não houve efeito significativo da interação ($p=0,321$) nem dos fatores isolados para comprimento do 3º entrenó.

Os períodos de indução floral das plantas (Figura 2.2 A), sob ciclos de luz/escuro de 15'/15' e 30'/0' minutos com distância horizontal da fonte de luz de 0 e 1 metro, respectivamente, foram superiores a 40 dias. Plantas cultivadas sem iluminação artificial ou sob lâmpadas incandescentes tiveram períodos de indução floral de 13,0 e 44,6 dias, respectivamente. Os resultados demonstram que houve inibição do florescimento em plantas de crisântemo submetidas a intensidade luminosa de $0,53 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em ciclos de 30'/0' minutos. Intensidade luminosa, muito menor a utilizada por Higuchi et al (2012), para produzir *Chrysanthemum morifolium* Ramat cultivar "Reagan" que proporcionaram controle do florescimento em 100% das plantas sob noites interrompidas por período de 4 horas com lâmpadas de LED de 660 nm e intensidade luminosa de $55,30 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Entretanto, os pesquisadores Blanchard & Runkle (2009) ao utilizar lâmpadas de sódio de alta pressão (HPS) sob intensidades luminosas inferiores a $0,8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na produção de duas variedades de crisântemo, observaram 90% de floração nas plantas. Isso demonstra que além da duração do ciclo e intensidade da luz fornecida, a qualidade da luz em relação a faixa espectral é importante, pois como demonstrado acima obteve-se controle do florescimento de crisântemo sob lâmpadas de LED com irradiância inferior a $0,8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 2.1). Os dados apresentados estão de acordo com Barbosa (2012) que afirma que gemas apicais completam sua indução floral com 14 dias de fotoperíodo inferior a 13 horas. O período de indução floral é importante no crescimento e desenvolvimento de plantas de crisântemo, bem como, influencia parâmetros de qualidade como número de flores e comprimento de haste. Essa influência é comprovada pela análise de correlação entre período de indução floral e os demais parâmetros avaliados (Tabela 2.1). Houve forte correlação entre período de indução floral com dez dos onze parâmetros avaliados, com destaque para as correlações com número de inflorescência (0,93) e comprimento médio de haste (0,92).

O comprimento de haste (Figura 2.2 B), sob ciclo luz/escuro de 30'/0' minutos à distância entre 0,2 e 0,7 m da fonte de luz, foi superior a 38 cm, valor semelhante ao

observado as plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes, com média de 38,36 cm. Ciclos de luz/escuro a partir de 15'/15' minutos à distância de 0 m da fonte de luz possibilitaram comprimentos de haste superiores a 35 cm, valores extremamente superiores em relação aos obtidos em plantas sem iluminação artificial (16,74 cm). Resultados semelhantes foram obtidos por Ouzounis et al. (2014) que ao utilizarem lâmpadas de LED com diferentes porcentagens de luz azul/vermelho em cultivo de *Chrysanthemum morifolium* 'Coral Charm', observaram maior crescimento nas plantas cultivadas com 100% de luz vermelha (38,58 cm) em comparação à combinação de 40% azul /60% vermelho (33,33 cm) ou 20% azul /80% vermelho (33,17 cm).

Houve correlação de 0,93 entre comprimento médio de haste e massa seca de folha, e de 0,92 entre comprimento médio de haste e número de entrenós, o que demonstra a influência da fase vegetativa no comprimento da haste (Tabela 2.1). Bellé et al. (2007), em cultivos de crisântemo de corte, cultivar 'Gompier Chá', relataram o incremento da altura de hastes devido ao maior número de nós por planta. De forma semelhante, Jeong et al (2014) verificaram que o comprimento da haste apresentou relação linear positiva com a duração do período luminoso. Entretanto, neste experimento não houve diferença significativa para comprimento do 3º entrenó que exibiu média de 3,77 cm, foi semelhante a valores encontrados por Bellé et al. (2007), que ao aplicar duas doses de 300 mg l⁻¹ ácido giberélico (GA₃) em crisântemo de corte, alcançaram o 3º entrenó de 3,69 cm. O número de hastes por planta de crisântemo foi de 3,35, análogo a valores obtidos por Garde et al. (2013), que produziram 3,76 hastes por planta, ao avaliar intensidade luminosa e data de desponte na variedade "Eliot".

Harmonia de vaso é um parâmetro de qualidade, e, para crisântemo, é expressa pela altura de planta/altura do vaso e deve estar entre 1,8 e 3,5 (Instituto Brasileiro de Floricultura, 2016). Harmonia de vaso (Figura 2.2 C) sob ciclos de luz/escuro a partir de 23'/7' minutos à distância de 0 m da fonte de luz, foi superior a 61,2 cm. Plantas cultivadas sem iluminação artificial ou sob lâmpadas incandescentes alcançaram harmonia de vaso de 35,8 e 61,7 cm, respectivamente. Porém, tanto as plantas cultivadas sob lâmpadas de LED como as plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes apresentaram valores médios entre 4 e 6,1 superiores aos 3,5 em todos os ciclos de luz/escuro e distâncias avaliados. Plantas cultivadas sem iluminação artificial apresentaram harmonia de vaso de 3,5. As plantas cultivadas sob lâmpadas de led e incandescentes apresentaram-se inadequadas quanto a relação altura da planta/altura do vaso. O uso de algum método para controle da altura das plantas pode

adequar comercialmente essa relação. As plantas cultivadas sem iluminação apresentaram adequada harmonia de vaso. Entretanto, apresentaram também menor número de folhas e inflorescências por planta, bem como, menor massa seca de folha e inflorescências por planta, deixando o vaso com má formação, justificando assim a utilização do controle do florescimento em crisântemo de vaso com lâmpadas de led.

Plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro de 23'/7' minutos à distância de 0 m obtiveram 18,8 entrenós por haste (Figura 2.2 D), de forma idêntico, às plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes (18,8). As plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro a partir de 7'/23' minutos à distância de até 1,5 m da fonte de luz produziram mais de 10 entrenós por haste, valores superiores em 100% ao apresentados por plantas cultivadas sem iluminação artificial (5). O número de entrenós foi diretamente proporcional ao ciclo de luz/escuro e a intensidade luminosa. De forma semelhante, Garde et al. (2013), observaram que maior intensidade luminosa proporcionou maior número de entrenós, em crisântemo 'Eliot' sob diferentes intensidades luminosas. Brum et al. (2007) registraram aumento no número de entrenós devido ao maior período de dias longos. Houve correlação de 0,96 entre o período de indução floral e o número de entrenós, demonstrando novamente a influência da fase vegetativa nos parâmetros de crescimento e desenvolvimento das plantas (Tabela 2.1).

O número de folhas por planta aumentou com ampliação do ciclo de luz/escuro e diminuiu com o distanciamento das plantas em relação à fonte de luz (Figura 2.2 E). Plantas cultivadas sob todos os ciclos de luz/escuro a 0 m da fonte produziram mais de 42 folhas por planta., de forma semelhante às plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes que produziram 41 folhas. Resultados parecidos foram apresentados por Kjaer & Ottosen (2011), que ao cultivar *Chrysanthemum morifolium* 'Coral Charm' sob fotoperíodo de 19 horas, constataram a produção de 48,6 folhas por planta.

O número de inflorescências por planta foi diretamente proporcional ao ciclo de luz/escuro e inversamente proporcional a distância das plantas à fonte de luz (Figura 2.2 F). Plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro de 15'/15' minutos à distância de 0 m da fonte de luz, produziram 18,2 inflorescências por planta, valor 100% maior que o obtido por plantas cultivadas sem iluminação artificial (9,1 g). O maior número de inflorescências por planta de 23,1, foi obtido sob lâmpadas de led com ciclo de luz/escuro 30'/0' à distância de 0 m da fonte de luz, enquanto menor número de inflorescências de 7,3, foi obtido sob ciclo de luz/escuro de 7'/23' minutos à 2,0 metros de distância da fonte de luz. Plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes produziram

em média 21,4 inflorescências por planta. Resultados parecidos foram apresentados por Craig et al. (2013), que obtiveram 21,0 inflorescências por planta em crisântemo da variedade Adiva Purple cultivadas sob lâmpadas de LED com intensidade luminosa entre 1,3 e 1,6 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. O número de inflorescências por vaso é considerado importante parâmetro de qualidade. Quanto maior o número de inflorescências por vaso, melhor a formação e preenchimento do buquê. Na Tabela 2.1, verifica-se que houve correlação de 0,8 entre número de inflorescências e número de folhas. Houve, também, correlação de 0,9 entre número de inflorescências e o número de entrenós, resultado biologicamente coerente, pois maior número de entrenós pode proporcionar maior número de gemas laterais aptas ao florescimento.

O diâmetro da inflorescência apresentou comportamento diretamente proporcional à distância e inversamente proporcional ao ciclo de luz/escuro (Figura 2.2 G). Plantas cultivadas sob ciclo de luz/escuro de 7'/23' minutos à distância de 2,0 m da fonte de luz apresentaram diâmetro médio de inflorescência de 71,9 mm, superior ao das plantas cultivadas sem iluminação artificial que apresentaram diâmetro médio de inflorescência de 61,9 mm. As plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro de 30'/0' minutos à distância de 0 m da fonte de luz apresentaram diâmetro médio de inflorescência de 41,6 mm, valor semelhante aos observados nas plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes, de 45,5 mm. Plantas que apresentaram os menores diâmetros de inflorescência, alcançaram maior número de inflorescências por planta (Figura 2.2 F), ratificada pela correlação de -0,85 entre diâmetro e número de inflorescências (Tabela 2.1). Isso demonstra que o menor diâmetro da inflorescência obtido sob lâmpadas de led, não está relacionado à qualidade espectral das lâmpadas, mas, à maior quantidade de inflorescências produzidas por essas plantas. Resultados semelhantes foram exibidos por Brum et al. (2007), que observaram aumento no número e redução no diâmetro de inflorescências em crisântemo 'Papiro' em vaso.

A massa seca de folha aumentou com a ampliação do ciclo de luz/escuro (Figura 2.2 H). Plantas cultivadas sob ciclo de 30'/0' minutos à distância de 0,3 m da fonte de luz obtiveram 2,3 g de massa seca de folhas, valor idêntico ao das plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes. Já, plantas cultivadas sob lâmpadas de led sob ciclo luz/escuro de 7'/23' minutos à distância de 0,4 m da fonte de luz produziram 1,8 g de massa seca de folha por planta, valor este 100% superior ao obtido por plantas cultivadas sem iluminação artificial (0,9 g). Resultados próximos foram obtidos por Garde et al. (2013), que ao cultivar crisântemo da variedade "Eliot" sob intensidade

luminosa de 157 lux, observaram produção de 2,77 g de massa seca de folhas por planta. Na Tabela 2.1 são apresentadas as correlações entre massa seca de folha e os demais parâmetros avaliados, com destaque para a correlação de 0,97 entre massa seca de folha e massa seca total e 0,98 entre massa seca de folha e massa seca de haste e de 0,89 entre massa seca de folha e período de indução floral. As altas correlações entre massa seca de folha e os demais parâmetros avaliados, demonstram a influência das folhas no crescimento e desenvolvimento das plantas de crisântemo, uma vez que são os principais órgãos de realização da fotossíntese e percepção de fatores externos como a luz e o fotoperíodo (TAIZ & ZEIGER 2013).

Plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro inferiores a 23'/7' minutos à distância de até 0,7 m da fonte de luz, e, sob ciclo de luz/escuro de 30'/0' minutos à distância superior a 0,6 m da fonte de luz produziram mais de 1,9 g de massa seca de inflorescências por planta (Figura 2.2 I). Plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes também produziram 1,9 g de massa seca de inflorescência por planta. Nos demais tratamentos as plantas produziram entre 1,2 e 1,8 g de massa seca de inflorescência, valor igual ou superior as plantas cultivadas sem iluminação artificial (1,2 g). De forma semelhante, a Garde et al. (2013) observaram produção, em crisântemo da variedade "Eliot", de 1,16 g de massa seca de inflorescência sob intensidade luminosa de 157 lux.

Plantas cultivadas sob ciclos de 23'/7' minutos à distância de até 1,0 m da fonte de luz, e sob, ciclos de 30'/0' minutos à distância de até 1,5 m da fonte de luz obtiveram peso de 3,7 g de massa seca de haste por planta (Figura 2.2 J). Plantas sob lâmpadas incandescentes alcançaram 3,9 g de massa seca de haste por planta. Já, as plantas cultivadas sob ciclo de luz/escuro de 7'/23' minutos à distância de até 1,2 m da fonte de luz, e sob, ciclo de luz/escuro 15'/15' minutos à distância de até 1,7 m da fonte de luz conseguiram mais de 2,46 g de massa seca de haste por planta. Estes valores foram superiores a 100% da massa seca de haste obtida em plantas cultivadas sem iluminação artificial (1,2 g). Garde et al. (2013) ao cultivar plantas de crisântemo da variedade "Eliot" alcançaram 2,97 g de massa seca de haste por planta sob intensidade luminosa de 157 lux. Houve forte correlação positiva de 0,99 entre massa seca de haste e massa seca total (Tabela 2.1), também. Houve elevada correlação positiva entre massa seca de haste e período de indução floral (0,84), bem com os demais parâmetros avaliada. Plantas mantidas sob maior tempo na fase vegetativa apresentaram maior produção de matéria seca.

Plantas cultivadas sob lâmpadas de led em ciclos de luz/escuro a partir de 23'/7' até 2 m de distância da fonte de luz produziram mais de 7,8 g de massa seca total, valor semelhante ao das plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes (8,1 g) (Figura 2.2 K). Já, plantas cultivadas em ciclos de luz/escuro a partir 7'/23' minutos à distância de 1,5 m da fonte de luz produziram mais de 6,6 g de massa seca total, valor 100% superior ao obtido por plantas sem iluminação artificial (3,3 g). Resultados semelhantes foram obtidos por Kjaer & Ottosen (2011) ao cultivar *Chrysanthemum morifolium* 'Coral Charm' em fotoperíodo de 19 horas (8,69 g). Entretanto, Garde et al. (2013) pesquisando plantas de crisântemo da variedade "Eliot" sob diferentes intensidades luminosas e datas de desponse não encontraram diferenças na massa seca total. Houve forte correlação positiva entre massa seca total e dez dos onze parâmetros avaliados (Tabela 2.1), com destaque para as correlações com período de indução floral (0,80), comprimento de haste (0,90) e ciclo de cultivo (0,91).

Plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro a partir de 23'/7' à distância de 0,6 m da fonte de luz atingiram ciclos de cultivo superiores a 94 dias (Figura 2.2 L), semelhantes ao das plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes que apresentaram ciclo de 94,5 dias. Plantas cultivadas sob ciclo de luz/escuro 7'/23' à distância de 0 e 2 m da fonte de luz alcançaram ciclos de 87,5 e 62,6 dias, respectivamente, valores superiores ao das plantas cultivadas sem iluminação artificial (59,8 dias) (Figuras 2.1 e 2.2 L). Após a indução, as plantas levaram em torno de 45 dias para completar o ciclo de cultivo. Assim, o ganho mais expressivo em massa seca da parte aérea, principalmente, massa seca de folha e haste, ocorreu durante a fase de crescimento vegetativo, o que foi evidenciado pela forte correlação entre ciclo de cultivo e período de indução floral (0,94) (Tabela 2.1). Houveram correlações iguais ou superiores a 0,89 entre ciclo de cultivo e os demais parâmetros avaliados, exceto para diâmetro de inflorescência (-0,87) e massa seca de inflorescência (0,60). O ciclo de cultivo é parâmetro de elevada importância no planejamento de produção de crisântemo de vaso, pois determina as datas de comercialização dos vasos em épocas comemorativas, como Dia das mães, Dia dos namorados e Dia de finados.

2.4 Conclusão

Houve influência entre a intensidade luminosa e o ciclos de luz no controle do florescimento de crisântemo de vaso. A relação é inversa, como o aumento do limite

superior de um fator (intensidade luminoso ou do ciclo de luz) o limite do outro fator necessário para inibição do florescimento diminui. Assim, a menor intensidade luminosa e ciclo de luz efetiva no controle do florescimento de crisântemo de vaso foram de $0,35 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e de 15'/15' minutos quando combinados com ciclos de luz de 30'/0' e intensidade luminosa de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Plantas de crisântemo cultivadas sob lâmpadas de led apresentaram crescimento e desenvolvimento superior que plantas sob lâmpadas incandescentes ou sem iluminação, demonstrando que a iluminação led é eficiente no controle do florescimento de crisântemo em vaso variedade 'Rage'. Entretanto, para o parâmetro de qualidade harmonia de vaso, as plantas cultivadas sob lâmpadas de led e incandescentes apresentaram-se inadequadas quanto a relação altura da planta/altura do vaso. O uso de algum método para controle da altura das plantas pode adequar comercialmente essa relação. As plantas cultivadas sem iluminação apresentaram adequada relação altura de planta/altura de vaso. Porém, produziram menor número de folhas e inflorescências por planta, bem como, menor massa seca de folha e inflorescências por planta, deixando o vaso com má formação, justificando assim a utilização do controle do florescimento em crisântemo de vaso com lâmpadas de led.

Tabela 2.1: Correlações entre os parâmetros de crescimento de crisântemo "Rage" cultivados em diferentes ciclos de luz/escuro e distância da fonte de luz.

	IF	CH	HV	NN	NF	NI	DI	MSF	MSI	MSH	MST
CH	0,92										
HV	0,87	0,92									
NN	0,96	0,92	0,88								
NF	0,82	0,88	0,80	0,82							
NI	0,93	0,86	0,83	0,90	0,80						
DI	-0,95	-0,86	-0,78	-0,89	-0,77	-0,85					
MSF	0,89	0,93	0,88	0,88	0,93	0,88	-0,79				
MSI	0,36	0,55	0,54	0,40	0,65	0,45	-0,25	0,65			
MSH	0,84	0,93	0,89	0,85	0,93	0,84	-0,75	0,98	0,70		
MST	0,80	0,90	0,86	0,81	0,92	0,82	-0,70	0,97	0,79	0,99	
CC	0,94	0,96	0,91	0,93	0,89	0,89	-0,87	0,93	0,60	0,92	0,91

indução floral (IF), comprimento de haste (CH), Harmonia de vaso (HV), número de entrenós (NN) por hastes, número de inflorescência (NI) por planta, , diâmetro da inflorescência (DI), massa seca de folha (MSF), haste (MSH) e total (MST) por planta, e ciclo de cultivo (CC),

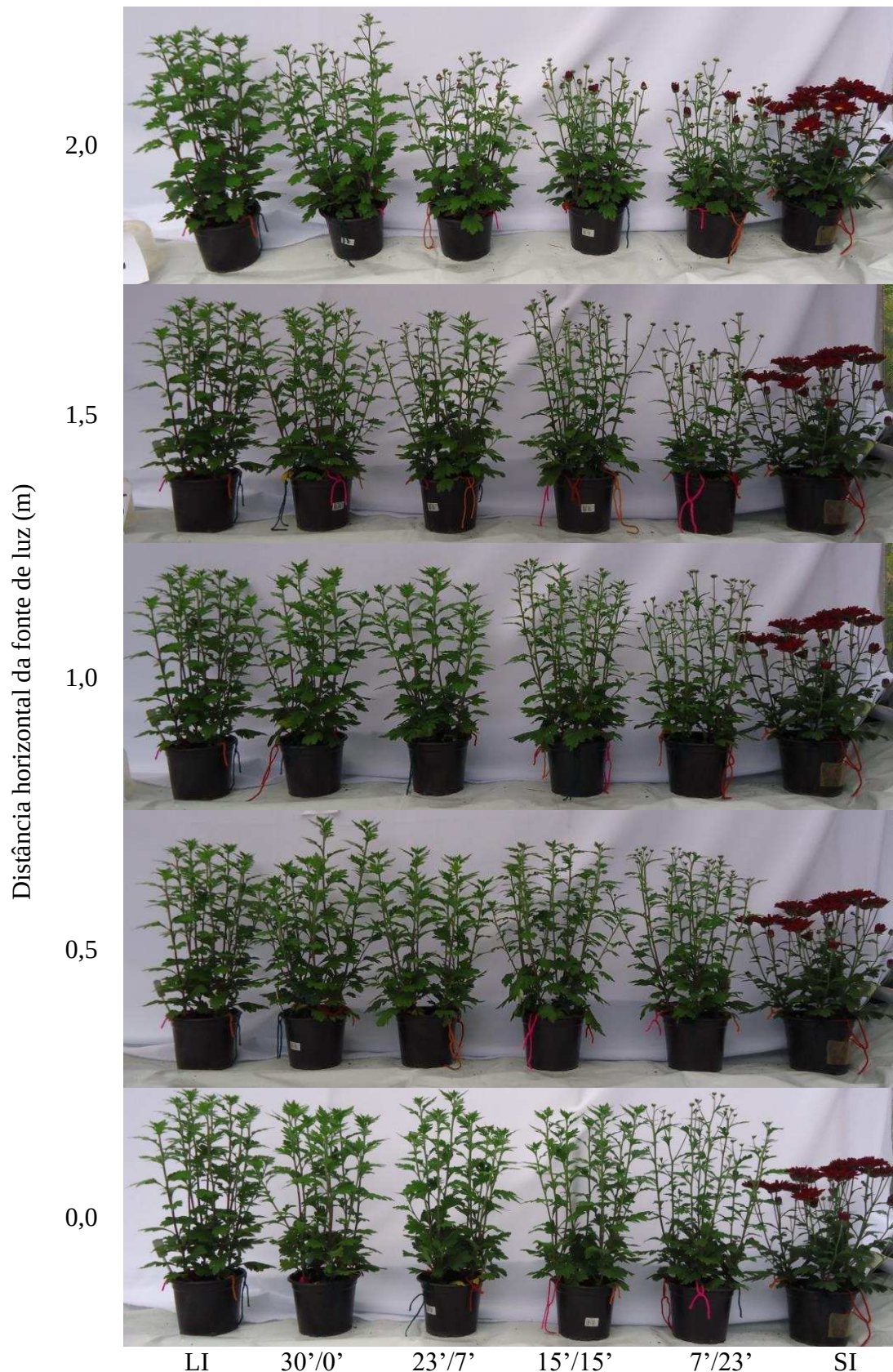


Figura 2.1: Plantas de crisântemo ‘Rage’ cultivadas sob lâmpadas de led sob diferentes ciclos de luz/escuro (30’/0’, 23’/7’, 15’/15’, 7’/23’) e distâncias horizontal da fonte de luz (0,0, 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 metros), sob lâmpadas incandescentes (LI) e Sem iluminação artificial (SI) ao 57 dias de cultivo.

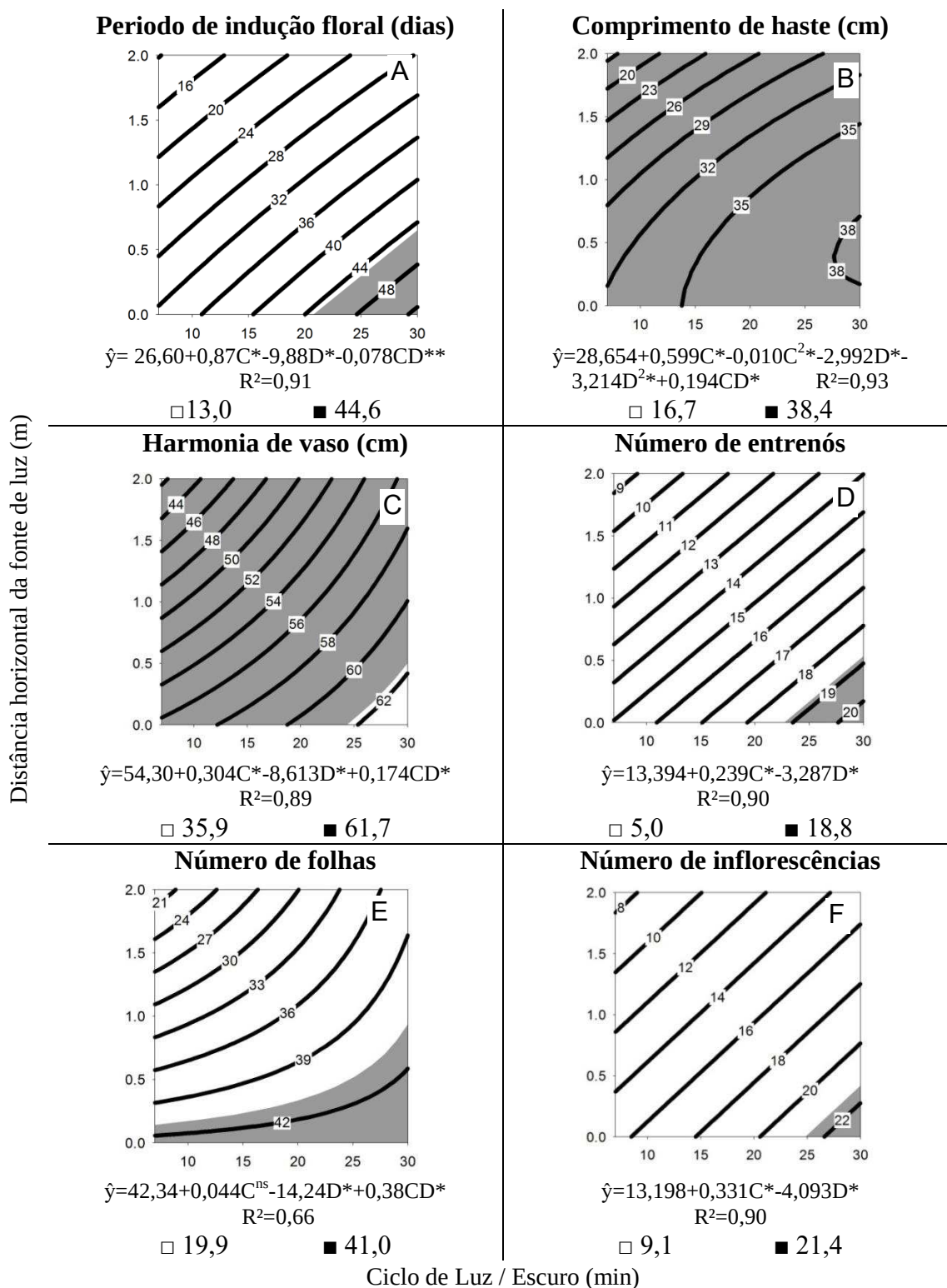


Figura 2.2. Parâmetros biológicos de crisântemo de vasos variedade “Rage” ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (C) e Distâncias horizontais da fonte luminosa (D). A região demarcada pela cor cinza apresenta as combinações entre os fatores estudados que proporcionaram valores de qualidade superiores às lâmpadas incandescentes. As testemunhas são referidas pela seguinte legenda: □ Plantas sem iluminação artificial ■ Plantas sob lâmpadas incandescentes. *, ** coeficientes angular significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste de t; ns coeficiente angular não significativo pelo teste t;

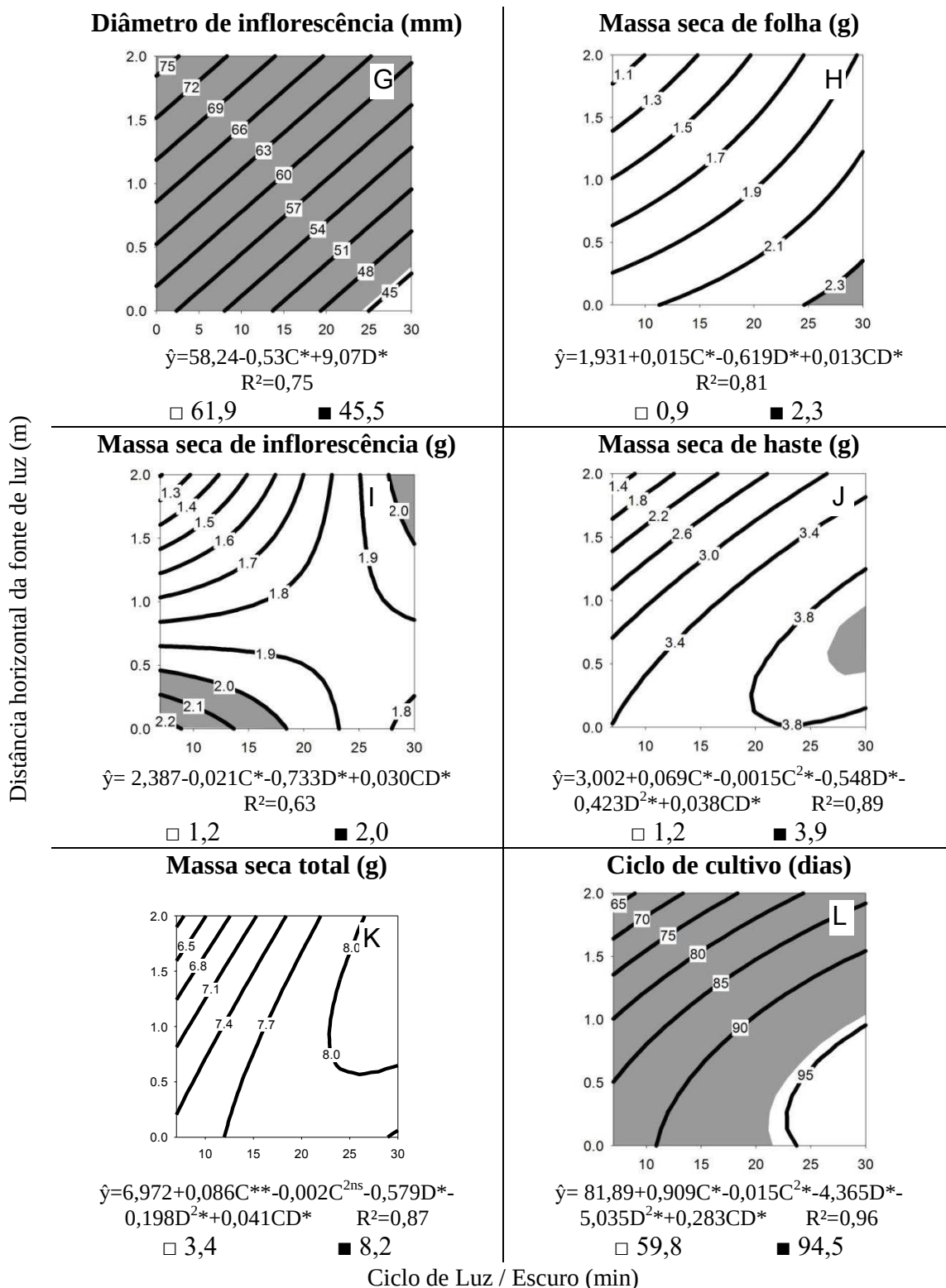


Figura 2.2. Continuação....Parâmetros biológicos de crisântemo de vasos variedade “Rage” ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (C) e Distâncias horizontais da fonte luminosa (D). A região demarcada pela cor cinza apresenta as combinações entre os fatores estudados que proporcionaram valores de qualidade superiores às lâmpadas incandescentes. As testemunhas são referidas pela seguinte legenda: □ Plantas sem iluminação artificial ■ Plantas sob lâmpadas incandescentes. *, ** coeficientes angular significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste de t; ns coeficiente angular não significativo pelo teste t;

CAPÍTULO 3

Iluminação intermitente de lâmpadas diodo emissor de luz no controle de florescimento de crisântemo de corte

3.1 Introdução

O fotoperiodismo é a capacidade da planta em determinar a duração do dia e moldar respostas fisiológicas e/ou morfológicas no momento mais favorável do ano. Inúmeras são as respostas das plantas controladas pela duração do dia: a formação de órgãos de reserva, indução de dormência, reprodução assexuada e indução ao florescimento, dentre outros. Plantas são classificadas de acordo com a influência do fotoperíodo na indução ao florescimento. A regulação ao florescimento é determinada pela duração crítica do dia. Planta de dia longo (PDL) florescem em comprimento do dia superior a duração crítica dos dias, e plantas de dia curto (PDC), florescem em exposição a fotoperíodo menor que a duração crítica do dia. Espécies que florescem independentemente do fotoperíodo são descritas como planta de dia neutro (TAIZ & ZEIGER, 2013).. Espécies PDL e PDC podem ainda ser descritas apenas quando acelera o florescimento (quantitativa ou facultativa). O crisântemo, *Dendranthema grandiflora* Tzvelev, classificada como sensível ao dia curto (PDC), apresenta florescimento induzido sob duração crítica do dia inferior a 13 horas (BARBOSA et al., 2012; TAIZ & ZEIGER, 2004).

O controle do florescimento é indispensável na floricultura, pois permite o florescimento no período desejado, podendo assim, direcionar a produção para datas de maior comercialização das flores, bem como, influencia a qualidade e aceitação das flores. O crisântemo é cultivado o ano todo, proporcionando fluxo de produção constante. Para isto, o cultivo deve ser realizado em estufa com seleção de cultivares e manejo adequado da fertirrigação, da fitossanidade e do fotoperíodo (SCHMIDT et al., 2003).

Na produção comercial a suplementação luminosa artificial durante a noite, é feita de forma contínua das 22:00 às 2:00, dividindo-se a noite longa em dois períodos menores. A forma intermitente, também é eficaz através de períodos de luz/escuro cíclico de 6'/24', 7,5'/22,5' ou 10'/20' minutos, respectivamente, entre 22:00 e 2:00. A intensidade luminosa necessária é 7 a 10 fc, que corresponde a 77 – 110 lux ou 0,30 – 0,43 W/m² de radiação fotossintética ativa (PAR) (BARBOSA et al., 2012). Os produtores trabalham com lâmpadas incandescentes que têm baixa eficiência na

transformação de energia elétrica em luminosa. A fim de aumentar a eficiência no uso da energia elétrica, o governo brasileiro proibiu de forma gradativa a partir de 2012 a importação, fabricação e venda de lâmpadas incandescentes (PLANALTO, 2013). Portanto, faz-se necessário buscar soluções alternativas de iluminação artificial para controle do florescimento.

Várias lâmpadas elétricas podem ser utilizadas de forma contínua no controle do florescimento em plantas de dias curto, incluindo, fluorescente (RUNKLE et al., 2012), e alta pressão de sódio (HPS) (BLANCHARD et al., 2009). Entretanto, a estratégia de controle do florescimento com lâmpadas ligadas de forma intermitente pode proporcionar 60-80% de economia nos custos operacionais totais, em comparação com a operação contínua (CATHEY et al., 1961). Entretanto, as lâmpadas fluorescentes não são utilizadas para iluminação cíclica, porque sua vida útil é reduzida com frequentes acionamentos (BICKFORD & DUNN, 1972). Da mesma forma, lâmpadas de alta pressão de sódio não são operadas de forma intermitente, porque exigem vários minutos para seu início de funcionamento, com isso, os acionamentos frequentes reduzem a vida útil do dispositivo de ignição da lâmpada (SPAARGAREN et al., 2001). Além disso, essas fontes apresentam desvantagens, tais como: baixo tempo de vida útil, baixo rendimento quântico e espectros de comprimento de onda pouco adequados para o controle do florescimento da planta (ILIEVA et al., 2010).

Os diodos emissores de luz (LEDs) foram investigados pela primeira vez em 1990, na produção de plantas e demonstraram ser uma alternativa eficiente para lâmpadas tradicionais utilizadas em sistema de iluminação artificiais (BULA et al., 1991; MORROW, 2008). As vantagens de LEDs incluem: menor tamanho e peso, longo tempo de vida útil (Cerca de 100 000 horas), baixa geração de calor, comprimento de onda específico, e menor consumo de energia elétrica. Além disso, os comprimentos de onda específicos permitem melhor ajuste da qualidade e intensidade de luz (MASSA et al., 2008). Os efeitos fisiológicos e morfológicos de plantas cultivados sob LED têm sido relatados para diferentes plantas, incluindo *Lilium* (LIAN et al., 2002), *Cymbidium* (TANAKA et al., 1998), morango (YANAGI et al., 2006), *Arabidopsis* (ZHANG et al., 2011) e *Crisântemo* (OCHIAI et al., 2015). Pesquisas para avaliar os efeitos de lâmpadas de led no controle de florescimento de plantas de dia longo e dia curto, principalmente na cultura do crisântemo, vêm sendo realizadas no Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. Entretanto, há necessidade de investigar o comportamento e desenvolvimento de plantas

submetidas a diferentes intensidades e ciclos luminosos de lâmpadas de LED; determinar a menor intensidade e ciclo luminoso que efetivamente inibe o florescimento; observar a relação entre intensidade e ciclo de luz no controle do florescimento de crisântemo de corte da variedade “Sunny Reagan”. Permitindo assim, apontar parâmetros que auxiliem no dimensionamento de um sistema de iluminação de LED que proporcione o controle eficiente do florescimento com ótima qualidade em plantas de crisântemo

3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFV em Viçosa-MG (20°45’S, 42°52’, altitude 690 m), no período de 10 de março a 28 de junho de 2015. Utilizou-se a variedade de crisântemo de corte ‘Sunny Reagan’, pertencente ao grupo margarida, de inflorescências com coloração amarela, com tempo de reação de 8 semanas, adquiridas da empresa Mudaflor.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas constituíram os ciclos de luz/escuros (7’/23’; 15’/15’; 23’/7’ e 30’/0’; minutos) por 4 horas e as sub parcelas distâncias horizontais das plantas à fonte luminosa (0,0; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5 e 1,8 m), com quatro repetições. Os ciclos de luz/escuro foram fornecidos por lâmpadas de LED, 18 W de potência, com ângulo de projeção de 90° (Protocolo de depósito de patente 4262 Div. Reg. INPI 04/07/2008).). As intensidades luminosas projetadas horizontalmente no solo pelas lâmpadas de LED foram mensuradas através de radiômetro modelo Quatum 46300 (LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska-USA) e os valores expressos em $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. As intensidades luminosas obtidas nas distâncias 0,0, 0,3, 0,6, 0,9, 1,2, 1,5 e 1,8 m foram de 0,60, 0,59, 0,49, 0,39, 0,29, 0,20 e 0,14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Utilizaram-se duas testemunhas: plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes (100 W) entre 22:00 e 2:00, e plantas sem iluminação artificial. Todas as parcelas foram isoladas, às 17:00, por lonas pretas de 150 μm a altura de 2,20 m em relação à bancada. Pela manhã, às 7:00, as lonas foram recolhidas, fornecendo 10 horas de luz natural.

A área experimental foi composta por parcelas de 2,0 m de comprimento por 1,0 m de largura, com espaçamento entre plantas de 14 x 15 cm, totalizando 91 plantas por parcela. As três linhas centrais de plantio foram utilizadas como parcela útil. Após o

plantio, as plantas foram submetidas a 30 dias longos, conforme seus respectivos tratamentos. Os diferentes ciclos de luz foram obtidos através de temporizador digital modelo TE-2163 (Decorlux, Curitiba) de 8 programações, das 22:00 às 2:00.

A fertirrigação foi feita com solução de nutritiva, contendo 3 g/l de Peters®, e aplicado 10 l/m² três vezes na semana alternados à irrigação. Durante o ciclo de cultivo, a temperatura e umidade relativa do ar foram registrados com auxílio de um dataLogger modelo HT500 (Instrutherm, São Paulo). A temperatura no interior da casa de vegetação apresentou valores médios de 22°C diurna e 15°C noturna, com valores máximo e mínimo de 38 e 8°C, respectivamente. A umidade relativa do ar variou entre 50 e 97 %. Para o cultivo comercial de crisântemo Barbosa et al (2012) recomendam temperatura entre 23 a 25°C diurna e em torno de 18°C noturna. As temperaturas médias registradas no experimento indicam que essa variável climática foi adequada ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

As variáveis analisadas foram: período de indução floral, compreende os dias entre plantio e o surgimento do botão floral; ciclo de cultivo, compreende os dias entre o plantio e a colheita das plantas; número de folhas, inflorescências e entrenós por planta, comprimento do 3º entrenó, comprimento de haste, diâmetro médio de inflorescência, massa seca de folha, inflorescência, haste e total por planta. Todas as variáveis, exceto período de indução floral, foram avaliadas quando as plantas apresentaram 50% das inflorescências abertas. Considerou-se inflorescência aberta quando a primeira fileira de língulas estava perpendicular à haste floral.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância e regressão polinomial. Na análise de regressão foram testados os efeitos linear e quadrático do modelo polinomial $Y = b_0 + b_1C + b_2D + b_3C^2 + b_4D^2 + b_5CD + e$, sendo C o ciclo de luz/escuro e D a distância da fonte de luz. Foram selecionadas as equações com efeito significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade, com significado biológico e com maior coeficiente de determinação (R²). Utilizou-se o Software SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1 para as análises estatísticas.

3.3 Resultados e Discussão

Houve interação significativa entre ciclo de luz/escuro e distância da fonte de luz para os parâmetros comprimento de haste (p=0,00001), número de entrenós (p=0,00001), diâmetro médio de inflorescência (p=0,0001), ciclo de cultivo (p=0,0001),

massa seca de folha ($p=0,0045$), haste ($p=0,0084$) e total ($p=0,0233$). Os parâmetros indução floral, número de folha e número de inflorescências por planta apresentaram efeito significativo para ciclo de luz/escuro ($p=0,0001$) e distância da fonte de luz ($p=0,0001$). Na Figura 3.1 estão apresentadas os gráficos e as respectivas equações de regressão dos parâmetros estudados. Não houve efeito significativo da interação ($p=0,3042$) nem dos fatores isolados para comprimento do 3º entrenó. O parâmetro massa seca de inflorescência não ajustou à equação polinomial.

Houve controle do florescimento em todas as plantas sob lâmpadas de led, pois apresentaram período de indução floral superior às plantas cultivadas sem iluminação artificial (13,3 dias) (Figura 3.1 A). Os dados apresentados estão de acordo com Barbosa et al (2012) que afirmam que gemas apicais de crisântemo completam sua indução floral no 14º dias de fotoperíodo curto. Plantas sob lâmpadas incandescentes induziram o florescimento em 42,1 dias de cultivo. O uso de lâmpadas de led demonstram que a inibição do florescimento de crisântemo ‘Sunny Reagan’ foi obtido à distância de 0,60 m da fonte de luz, com intensidade luminosa medida de $0,49 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sob ciclo de luz/escuro de 30’/0’ min. Entretanto, quando o ciclo de luz/escuro foi de 15’/15’ min e sob as lâmpadas a intensidade luminosa mínima requerida foi de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Esses resultados sugerem que a variedade “Sunny Reagan” responda à lei da reciprocidade, formulada por R. W. Bunsen e H. E. Roscoe em 1850. A lei propõe que respostas fotoperiódicas podem ser induzidas por breve pulso de luz vermelha, desde que a luz seja intensa o suficiente (TAIZ & ZEIGER, 2013). A irradiância limite que atrasa a floração pode variar entre espécies e cultivares de plantas de dia curto (VINCE-PRUE, 1975). Por exemplo, a irradiância limiar para *Xanthium strumarium* L. foi estimado em $0,001-0,002 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, e para poinsettia estimada em $1,1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, (PARKER et al, 1946;. CATHEY & TAYLOR, 1963). Os resultados obtidos nessa pesquisa são semelhantes aos observados Ochiai et al (2015), que ao produzirem 12 variedades de crisântemo (“Cent west,” “Sei eige,” “Sei opti,” “Sei no nami,” “Sei no makura,” “Jimba,” “Remidas,” “Sei elsa,” “Seiko komei,” “Seiko no makoto,” “Sei yukino,” e “Sei tsudoï.”) obtiveram controle do florescimento das plantas durante 6 semanas sob noites interrompidas por período de 6 horas iluminada com lâmpadas de led à intensidade $0,1 - 0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Entretanto, os pesquisadores Blanchard & Runkle (2009) ao utilizar lâmpadas de sódio de alta pressão (HPS) na produção de duas variedades de crisântemo, observaram 90% de floração nas plantas sob intensidade luminosa inferior a $0,8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Isso demonstra que além da duração do ciclo e

intensidade da luz fornecida, a qualidade da luz em relação a faixa espectral é importante. Houve correlação de 0,79 entre período de indução floral e comprimento de haste (Tabela 3.1), e de 0,60 com diâmetro de inflorescência, demonstrando a importância do período de indução floral no crescimento, desenvolvimento e qualidade de plantas de crisântemo, pois influencia parâmetros de qualidade como comprimento de haste e diâmetro de inflorescência.

As plantas cultivadas sob lâmpadas de led em todos os ciclos de luz/escuro e distâncias da fonte de luz, produziram haste florais com padrão comercial, de acordo com o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLO, 2016). Classes comerciais com comprimento de hastes florais entre 85-90 cm constituem o padrão mais elevado e foram produzidas por plantas cultivadas em ciclos de luz/escuro a partir de 7'/23' minutos a distâncias de até 1,0 m da fonte de luz com valores superiores a 85,0 cm (Figura 3.1 B). Hastes florais produzidas pela plantas cultivadas sem iluminação artificial não atingiram padrão de comercialização (54,4 cm). Resultados semelhantes foram observados por Joeng et al (2014) que ao cultivar crisântemo de corte 'Zembla' sob iluminação artificial de LED com luz mista vermelha (80%) e azul (20%) sob fotoperíodo de 11 horas, sem luz suplementar, e, com 13 horas de luz azul suplementar obtiveram comprimentos de haste de 53,8 e 90,2 cm, respectivamente. Segundo Carvalho (2002) o comprimento final da haste de crisântemo é geralmente determinada pelo comprimento dos entrenós e número de entrenós. Nesta pesquisa houve correlação de 0,75 entre comprimento da haste e número de entrenó (Tabela 3.1) e não houve efeito significativo para comprimento do 3º entrenó, resultados idênticos aos obtidos por Bellé et al (2007), que atribuíram o aumento no comprimento de haste de crisântemo de corte, cultivar 'Gompier Chá', ao acréscimo do número de entrenós por planta.

Plantas cultivadas sob ciclos de 7'/23' minutos à distância de até 1,0 m da fonte de luz produziram mais de 26,0 entrenós por haste (Figura 3.1 C). Plantas cultivadas sem iluminação artificial ou sob lâmpadas incandescentes alcançaram 22,3 e 26,5 entrenós por haste, respectivamente. De forma, semelhante a Joeng et al (2014) obtiveram 34,8 entrenós por haste em crisântemo de corte 'Zembla' cultivado sob iluminação artificial com luz mista vermelha (80%) e azul (20%) com fotoperíodo de 11 horas, seguida de 13 horas de luz suplementar azul. O número de entrenós apresentou comportamento igual ao observados por Garde et al (2013), que observaram aumento no número de entrenós com a elevação da intensidade luminosa, em crisântemo 'Eliot'.

Brum et al (2007), em crisântemo multiflora, registraram aumento no número de entrenós, devido a maior exposição ao número de dias longos. O comprimento do 3º entrenó apresentou média de 1,3 cm, semelhante a Liao et al (2014), que ao interromperem a noite com iluminação de LED por seis semanas em *Chrysanthemum morifolium* variedade ‘Jimba’ obtiveram comprimento de entrenós de 1,0 cm.

A produção de folhas foi maior com a redução do ciclo de luz/escuro e mostrou resposta quadrática para a intensidade luminosa (Figura 3.1 D). Plantas cultivadas em ciclos de luz/escuro de 7’/23’ à distância de até 1,8 m da fonte de luz produziram mais de 24,0 folhas por planta. As plantas cultivadas sem iluminação artificial ou sob lâmpadas incandescentes apresentaram 21,0 e 23,4 folhas por planta, respectivamente. Resultados semelhantes foram apresentados por Ochiai et al (2015), que ao pesquisar 12 variedades de crisântemo cultivados sob lâmpadas de led de luz vermelha obtiveram valores entre 17,8 a 30,0 folhas por planta. Segundo Bellé et al (2007) a integridade, limpeza e aspectos fitossanitários das folhas são características qualitativas mais relevantes do que o seu tamanho ou a sua área, até o ponto em que modificações na área foliar não comprometam o crescimento da planta e o tamanho das inflorescências.

Plantas cultivadas sob lâmpadas de led produziram hastes florais comerciais com 4,8 a 9,0 inflorescências por planta (Figura 3.1 E). O número de inflorescências é importante parâmetro de qualidade. O crisântemo de corte, comercializado na forma de “spray” ou cacho, deve apresentar entre 5 a 8 inflorescências/haste (FLÓREZ-RONCANCIO et al., 1996). As plantas cultivadas sem iluminação artificial e sob lâmpadas incandescentes apresentaram 7,6 e 6,5 inflorescências por planta, respectivamente. Os resultados corroboram com os obtidos por Silveira & Minami (1999), que ao avaliar a qualidade de hastes florais de crisântemo do grupo decorativo, comercializadas no estado de São Paulo, constituíram entre 5,9 e 9,7 inflorescências por planta. De forma semelhante, Bellé et al (2007) ao cultivarem crisântemo de corte (*D. grandiflora* cultivar Gompier Chá) em fotoperíodo artificial de 16 horas e tratarem as plantas com ácido giberélico (GA₃) observaram de 7,2 a 9,4 inflorescências por cacho.

Maior diâmetro de inflorescência foi obtido em plantas cultivadas mais próximas à fonte de luminosa de led e sob maiores ciclo de luz/escuro (Figura 3.1 F). As plantas cultivadas em lâmpadas de led sob ciclos de luz/escuro a partir de 7’/23 minutos à distância de 0,2 m da fonte de luz apresentaram valores superiores a 86,7 mm. Plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes exibiram diâmetro médio de inflorescência de 86,6 mm. Todas as plantas cultivadas em lâmpadas de led apresentaram diâmetros de

inflorescências superiores aos obtidos em plantas cultivadas sem iluminação artificial (73,8). Khattak et al (2006) ao cultivar crisântemo sob filtros de espectro de luz observaram menores diâmetros de inflorescência (10,9 cm) sob filtros que absorviam luz vermelha, em comparação a filtros que absorviam luz azul (11,9 cm) e ao controle (12,0 cm). Entretanto, Rajapakse et al (2003), ao pesquisarem crisântemo 'Bright Golden Anne' submetido a diferentes taxas de luz vermelha/vermelha distante, observaram a redução do diâmetro da inflorescência (9,8, 9,2, 8,5, 8,7, e 7,5 cm) com o aumento da taxa de vermelho/vermelha distante (1,1, 1,6, 2,3, 3,5 e 3,7). Isso sugere o envolvimento do fitocromo no desenvolvimento do diâmetro de inflorescência em crisântemo, importante parâmetro de qualidade em haste florais de crisântemo, uma vez que a pouca variação no número de inflorescência. Assim, maiores diâmetro de inflorescência, geralmente melhora as composições dos arranjos florais.

A produção de massa seca de folha foi maior com ampliação do ciclo de luz/escuro e com a proximidade das plantas a fonte de luz (Figura 3.1 G). Plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro de 30'/0' à distância de até 0,5 m da fonte de luz produziram mais de 2,9 g de massa seca de folha, valores superiores aos das plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes (2,9 g). Já, plantas cultivadas em ciclos de luz/escuro a partir de 15'/15 minutos, à distância de até 0,5 m da fonte de luz produziram mais de 2,4 g de massa seca de folha, valor 100% superior aos observados nas plantas cultivadas sem iluminação artificial (1,2 g). Joeng et al (2014) ao cultivar crisântemo de corte 'Zembla', sob iluminação artificial de LED com luz mista vermelha (80%) e azul (20%) em fotoperíodo de 15 horas seguidas por 5 horas de luz azul suplementar, produziram 1,97 g de massa seca de folha.

A produção de massa seca de haste foi maior com a ampliação do ciclo de luz/escuro e com a proximidade das plantas às lâmpadas de led (Figura 3.1 H). Plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro de 30'/0' à distância de até 0,4 m da fonte de luz apresentaram mais de 4,8 g por planta, valor próximo ao obtido por plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes. As plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro a partir de 7'/23' minutos à distância de 0,3 m da fonte de luz produziram 3,8 g de massa seca de haste, valor 100% maior que as plantas cultivadas sem iluminação artificial (1,9g). Jeong et al (2014) ao produzir *Chrysanthemum morifolium* 'Zembla' sob iluminação led com 13 horas de luz azul seguida de 11 horas de luz mista 80% vermelha e 20% azul, obtiveram massa seca de haste de 2,37 g. Khattak et al (2006) ao pesquisarem o efeito dos filtros de espectro de luz no crescimento e desenvolvimento de plantas de crisântemo

observaram maior massa seca de haste em plantas sob filtros que permitiam a passagem da luz vermelha e absorviam a luz azul (1,54 g) em comparação aos filtros que permitiam a passagem da luz azul e absorviam o vermelho (1,23 g), o que demonstra a importância da luz vermelha na produção de massa seca de haste.

A produção de massa seca total das plantas cultivadas aumentou com a ampliação do ciclo de luz/escuro e com a proximidade das plantas às lâmpadas de led (Figura 3.1 I). Plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro de 30'/0' à distância de até 0,2 m da fonte de luz apresentaram mais de 9,2 g de massa seca total por planta, valor idêntico ao obtido por plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes. As plantas cultivadas sob ciclos de luz/escuro a partir de 15'/15 minutos à distância de 0,0 m da fonte de luz produziram 8,3 g de massa seca total, valor próximo a 100% maior que das plantas cultivadas sem iluminação artificial (4,2 g). Resultados semelhantes foram constatados por Kjaer & Ottosen (2011) ao cultivar *Chrysanthemum morifolium* 'Coral Charm' em fotoperíodo de 19 horas, que obtiveram valores de 8,69 g de massa seca total. Segundo Barbosa et al (2005) valores elevados de matéria seca representam plantas fortes e consistentes o que proporciona maior vida pós-colheita de flores cortadas.

O ciclo de cultivo foi superior a 95 dias para plantas cultivadas sob ciclo de luz/escuro a partir de 7'/23' minutos à distância de 0 m da fonte de luz (Figura 3.1 J). Plantas cultivadas sem iluminação artificial ou sob lâmpadas incandescentes alcançaram ciclo de cultivo de 62,00 e 93,8 dias, respectivamente. De acordo com Barbosa et al (2012), o ciclo de cultivo para crisântemo de corte cultivado em sistema convencional varia entre 95 e 115 dias. Da mesma forma, Barbosa et al (2010) exibiram ciclo de cultivo de 92,5 e 93,2 dias para as variedades de crisântemo Blush Hawai e Calabria, respectivamente, quando produzidos em sistemas hidropônicos em fotoperíodo de 16 horas, sendo 4 horas de luz artificial. O ciclo de cultivo é parâmetro de elevada importância no planejamento de produção de crisântemo de corte, pois há redução de custo em ciclos menores, além disso, determina as datas para colheita das hastes florais em épocas comemorativas, como Dia das mães, Dia dos namorados e Dia de finados.

Para os parâmetros comprimento de haste, número e diâmetro de inflorescência e ciclo de cultivo, plantas cultivadas sob ciclo de luz/escuro de 30'/0' à distância de 2,0 m da fonte de luz e, ciclo de luz/escuro de 7'/23' min à distância de 0,0 m da fonte luminosa mostraram-se superiores às plantas cultivadas sob lâmpadas incandescentes. Plantas cultivadas sem iluminação artificial produziram hastes florais com comprimento

abaixo do mínimo requerido para comercialização. Dessa forma, justifica-se o uso de lâmpadas de led no controle do florescimento em crisântemo de corte.

3.4 Conclusão

Houve influência entre a intensidade luminosa e o ciclos de luz no controle do florescimento de crisântemo de vaso. A relação é inversa, como o aumento do limite superior de um fator (intensidade luminoso ou do ciclo de luz) o limite do outro fator necessário para inibição do florescimento diminui. Assim, a menor intensidade luminosa e ciclo de luz efetiva no controle do florescimento de crisântemo de corte foram de $0,14 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e de 7'/23' minutos quando combinados com ciclos de luz de 30'/0' e intensidade luminosa de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Plantas de crisântemo cultivadas sob lâmpadas de led apresentaram crescimento e desenvolvimento superior que plantas sob lâmpadas incandescentes ou sem iluminação, demonstrando que a iluminação led é eficiente no controle do florescimento de crisântemo de corte variedade 'Sunny reagan', demonstrando a possibilidade de substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas de LED.

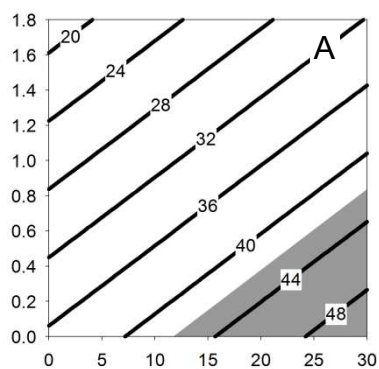
Tabela 3.1. Correlações entre os parâmetros de crescimento de crisântemo "Sunny reagan" cultivados em diferentes ciclos de luz/escuro e distância da fonte de luz.

	IF*	CC	NI	DI	NF	CH	NN	MSF	MSH
CC	0,86								
NI	-0,45	-0,57							
DI	0,60	0,60	-0,31						
NF	-0,17	-0,21	0,47	-0,19					
CH	0,79	0,81	-0,33	0,63	-0,10				
NN	0,45	0,44	0,03	0,41	0,20	0,75			
MSF	0,59	0,52	0,13	0,62	0,10	0,77	0,71		
MSH	0,59	0,55	0,12	0,62	0,05	0,79	0,63	0,93	
MST	0,54	0,49	0,20	0,62	0,09	0,74	0,64	0,96	0,98

* indução floral (IF), ciclo de cultivo (CC), número de inflorescência (NI), diâmetro de inflorescência (DI), número de folhas (NF), comprimento de haste (CH), número de entrenós (NN), massa seca de folha (MSF), haste (MSH) e total (MST) por planta.

Distância horizontal da fonte de luz (m)

Período de indução floral (dias)

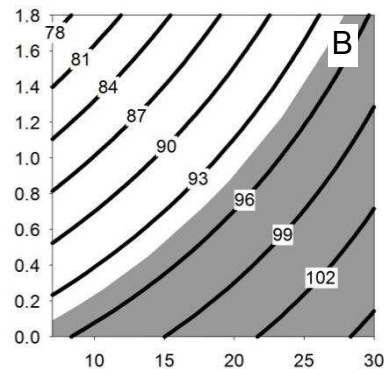


$$\hat{y} = 36,63 + 0,47C^* - 10,31D^*$$

$$R^2 = 0,95$$

□ 13,3 ■ 42,1

Comprimento da haste (cm)

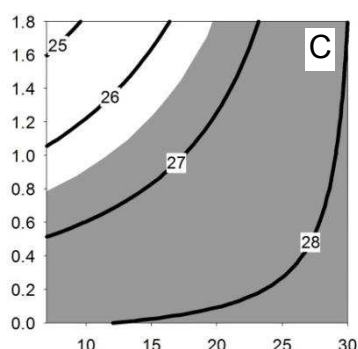


$$\hat{y} = 92,25 + 0,45C^* - 11,84D^* + 0,22CD^{**}$$

$$R^2 = 0,89$$

□ 54,5 ■ 94,5

Número de entrenós

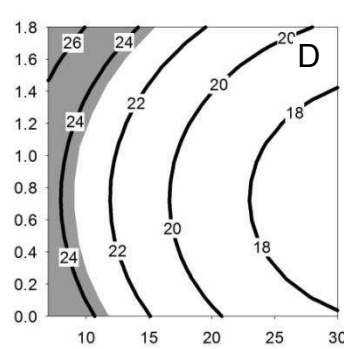


$$\hat{y} = 27,88 + 0,01C^{ns} - 2,38D^* + 0,076CD^*$$

$$R^2 = 0,66$$

□ 22,3 ■ 26,5

Número de folhas

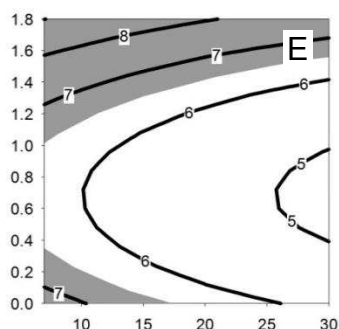


$$\hat{y} = 30,43 - 0,71C^* + 0,01C^{2*} - 3,84D^* + 2,63D^{2*}$$

$$R^2 = 0,65$$

□ 21,0 ■ 23,4

Número de inflorescências

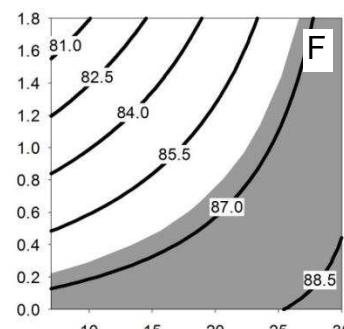


$$\hat{y} = 7,93 - 0,10C^{ns} + 0,001C^{2ns} - 3,0D^* + 2,2D^{2*}$$

$$R^2 = 0,79$$

□ 7,6 ■ 6,5

Diâmetro de inflorescência (mm)



$$\hat{y} = 87,18 + 0,052C^{ns} - 5,34D^{**} + 0,16CD^*$$

$$R^2 = 0,71$$

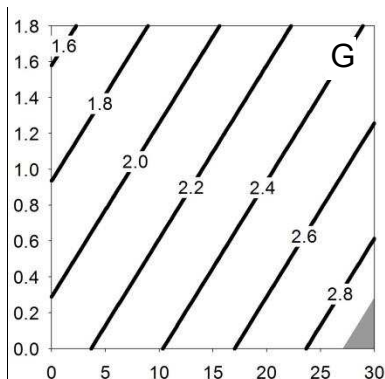
□ 73,9 ■ 86,6

Ciclo de Luz / Escuro (min)

Figura 3.1. Parâmetros biológicos de crisântemo de corte variedade “Sunny Reagan” ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (C) e Distâncias horizontais da fonte luminosa (D). A região demarcada pela cor cinza apresenta as combinações entre os fatores estudados que proporcionaram valores de qualidade superiores às lâmpadas incandescentes. As testemunhas são referidas pela seguinte legenda: □ Plantas sem iluminação artificial ■ Plantas sob lâmpadas incandescentes. *; ** coeficientes angular significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste de t; ns coeficiente angular não significativo pelo teste t.

Distância horizontal da fonte de luz (m)

Massa seca de folha (g)

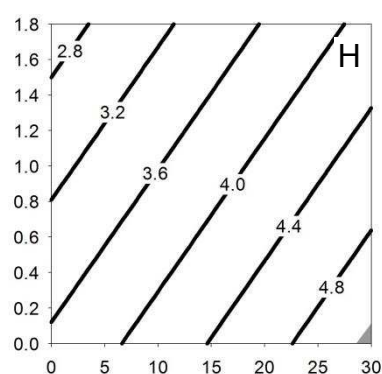


$$\hat{y}=2,09+0,03C^{*}-0,31D^{*}$$

$$R^2=0,74$$

□ 1,2 ■ 2,9

Massa seca de haste (g)

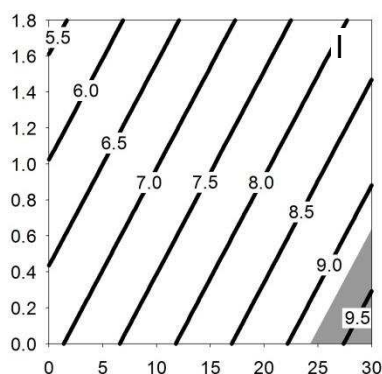


$$\hat{y}=3,67+0,05C^{*}-0,58D^{*}$$

$$R^2=0,69$$

□ 1,9 ■ 4,9

Massa seca total (g)

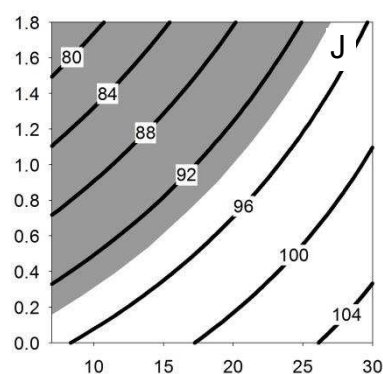


$$\hat{y}=6,87+0,096C^{*}-0,85D^{*}$$

$$R^2=0,65$$

□ 4,2 ■ 9,2

Ciclo de cultivo (dias)



$$\hat{y}=90,37+0,24C^{*}-10,64D^{*}+0,22CD^{*}$$

$$R^2=0,92$$

□ 62,0 ■ 93,8

Ciclo de Luz / Escuro (min)

Figura 3.1. Continuação.....Parâmetros biológicos de crisântemo de corte variedade “Sunny Reagan” ($\hat{Y}$), em função de diferentes ciclos de iluminação (C) e Distâncias horizontais da fonte luminosa (D). A região demarcada pela cor cinza apresenta as combinações entre os fatores estudados que proporcionaram valores de qualidade superiores às lâmpadas incandescentes. As testemunhas são referidas pela seguinte legenda: □ Plantas sem iluminação artificial ■ Plantas sob lâmpadas incandescentes. *; ** coeficientes angular significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste de t; ns coeficiente angular não significativo pelo teste t.

CONCLUSÃO GERAL

Intensidade luminosa de $2,0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ não é capaz de reduzir o ciclo de luz/escuro mínimo para controle de florescimento de crisântemo de vaso da variedade ‘Rage’.

Crisântemo de vaso da variedade ‘Rage’ necessita de controle do florescimento, pois sem a aplicação da técnica, apresenta vaso com reduzido número de inflorescência e folhas, inadequado para os padrões comerciais.

Lâmpadas de led com ciclo de luz/escuro de 15’/15’ minutos e intensidade luminosa de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, foram ou eficientes no controle do florescimento de crisântemo de vaso variedade ‘Rage’, já que as plantas produzidas nos vasos apresentaram características adequadas ao padrão exigido pelo mercado, como conformação de buquê e número de folha adequado.

Lâmpadas de led com intensidade de $0,356 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, e ciclo de luz/escuro de 30’/0’ minutos, foram eficientes no controle do florescimento de crisântemo de vaso variedade ‘Rage’, já que as plantas produzidas nos vasos apresentaram características adequadas ao padrão exigido pelo mercado, como conformação de buquê e número de folha adequado.

Lâmpadas de led com ciclo de luz/escuro de 7’/23’ minutos e intensidade luminosa de $0,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, foram eficientes no controle do florescimento de crisântemo de corte da variedade ‘Sunny Reagan’, já que as plantas produzidas obtiveram valores superiores à testemunha nos principais parâmetros utilizados para comercialização, quando avaliada a haste floral.

Lâmpadas de led com intensidade luminosa de $0,14 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ com ciclo contínuo de 4 horas são efetivo no controle do florescimento de crisântemos de corte variedade ‘Sunny Reagan’, pois as plantas produzidas obtiveram valores superiores à testemunha nos principais parâmetros utilizados para comercialização, comprimento de haste floral, número de flores e diâmetro da flor.

O controle do florescimento é distinto para diferentes variedades de crisântemo.

O uso de lâmpadas de LED de 18 W para a produção comercial de crisântemo de vaso e crisântemo de corte é viável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M.L; MUNDSTOCK, C.M. O afilhamento da aveia afetado pela qualidade da luz em planta sob competição. **Ciência Rural**, v.31, n.3, p.393-400, 2001
- ANDEL, F.; HASSON, K.C.; GUI, F.; ANFINRUD, P.A.; MATHIES, R.A. Femtosecond time resolved spectroscopy of the primary photochemistry of phytochrome. **Biospectroscopy**, n. 3, p. 421–431, 1997
- ANTONOPOLLOU, C.; DIMASSI, F.; THERIOS, I.; CHATZISSAVVIDIS, C The influence of radiation quality on the *in vitro* rooting and nutrient concentrations of peach rootstock. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v. 48, n. 4, p. 549-553, 2004.
- BARBOSA, J. G. **Crisântemos: produção de mudas – cultivo para corte e flor – cultivo hidropônico**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2003. 234 p.
- BARBOSA, J. G.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, M. S.; STRINGHETA, A. C. O. **Cultivo de crisântemo para corte**. Informe agropecuário. Belo Horizonte: Epamig, v. 26, n. 227, 2005.
- BARBOSA, J. G.; MUNIZ, M. A.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, R. A.; CARDOSO, A. A.; BARBOSA, M. S. Concentração de nutrientes em crisântemos de vaso, cultivado sob diferentes relações $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$. **Acta Scientiarum**, 27:3, 387-394, 2005.
- BARBOSA, J.G; MUNIZ, M.A; GROSSI, J.A.S; BARBOSA, M.S. **Crisântemo**. In: PAIVA, P.D.O.; ALMEIDA, E.F.A. Produção de flores de Corte: Volume 1. Lavras: UFLA, 2012. v. 1, 244 p.
- BARBOSA, J.G; MUNIZ, M.A; GROSSI, J.A.S; BARBOSA, M.S. Crisântemo. In: PAIVA, P.D.O.; ALMEIDA, E.F.A. **Produção de flores de Corte: Volume 1**. Lavras: UFLA, 2012. v. 1, 244 p.
- BARBOSA, M.S.; BARBOSA, J.G.; MARTINEZ, H.E.P.; GROSSI, J.A.S.; REIS F.P.; PONTES T.M.; RAIMUNDO, M.R. Concentração de nutrientes em crisântemos de corte, cultivados em hidropônica, sob diferentes doses de Cálcio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, 25:2, 46-54, 2009.
- BARBOSA, M.S; BARBOSA, J.G; FINGER, F.L; PONTES, T; RAIMUNDO, M.R; FERREIRA, T.C. Produtividade e longevidade de crisântemos, cultivados em hidropônica, em resposta a doses de cálcio. **Ciência Agrotecnologia**, v. 34, n. 5, p. 1205-1210, 2010
- BAROLI, I.; PRICE, D.; BADGER, M.R.; VON CAEMMERER, S. The contribution of photosynthesis to the red light response of stomatal conductance. **Plant Physiology**, n. 146, p. 737–747, 2008.
- BELLÉ, R.A.; ROGGIA, S.; KUSS, R.C.R Ácido giberélico e dia curto interrompido em crisântemo de corte (*Dendranthema grandiflora*, Tzvelev., "Gompier Chá"). **Ciência Rural**, v.37, n.2, p.357-362, 2007.

BERNIER, G.; KINET, J.M.; SACHS, R.M. The initiation of flowers. **The physiology of flowering**, Boca Raton, Florida: CRC press, Inc. 1981. v.1, 129 p.

BICKFORD, E.D.; DUNN, S. **Lighting for Plant Growth**. Kent State Univ. Press, Kent, OH. 1972.

BLACQUIERE, T.. How much light is needed for the prevention of flowering of cut chrysanthemums when using high intensity HPS lighting as a night break? **Acta Horticulturae**. 580, 69–75. 2002

BLANCHARD, M.G.; RUNKLE, E.S. Intermittent light from a rotating high-pressure sodium lamp promotes flowering of long-day plants. **HortScience**, 45:236–241. 2010

BLANCHARD, M.G.; RUNKLE, E.S. Use of a cyclic high-pressure sodium lamp to inhibit flowering of chrysanthemum and velvet sage. **Scientia Horticulturae**, v. 122, p. 448–454, 2009.

BLANCHARD, M.G.; RUNKLE, E.S. Use of a cyclic high-pressure sodium lamp to inhibit flowering of chrysanthemum and velvet sage. **Scientia Horticulturae**, v. 122, p. 448–454, 2009.

BRUM, B.; SANTOS, V.J.; RODRIGUES, M.A.; BELLÉ, R.A.; LOPES, S.J. Crescimento, duração do ciclo e produção de inflorescências de crisântemo multiflora sob diferentes números de despontes e tamanhos de vasos. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p. 682-689. 2007.

BULA, R. J.; MORROW, R. C.; TIBBITTS, T. W.; BARTA, D. J.; IGNATIUS, R. W.; Martin, T. S. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. **Hortscience**, 26: 203–205, 1991.

CANHAM, A.E. The fluorescent tube as a source of night-break light. **Expt. Hort.** 16: 53–68, 1966.

CARVALHO, H.M.B. Diodos Emissores de Luz de Alto Brilho e Alta Potência. **Directlight** – Artigo DL-05, março 2007.

CARVALHO, S.M.P.; HEUVELINK, E.; CASCAIS, R.; VAN KOOTEN, O. Effect of day and night temperature on internode and stem length in chrysanthemum: is everything explained by DIF? **Annals of Botany**, 90:11–18, 2002.

CARVALHO-ZANÃO, M.P; ZANÃO JÚNIOR, L.A; BARBOSA, J.G; GROSSI, J.A.S; ÁVILA, V.T. Yield and shelf life of chrysanthemum in response to the silicon application. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 403-408, 2012.

CASHMORE, A.R., J.A. JARILLO, Y.J. WU, and D. LIU. Cryptochromes: blue light receptors for plants and animals. **Science**. n, 284. p.760–765, 1999.

CATHEY, H.M.; BORTHWICK, H.A. Cyclic lighting for controlling flowering of chrysanthemum. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, 78: 545–552, 1961.

CATHEY, H.M.; BORTHWICK, H.A. Photoreversibility of floral initiation in Chrysanthemum. **Botanical Gazette**, 119:71–6, 1957.

CATHEY, H.M.; TAYLOR, R.L. Growth control of poinsettia by use of cyclic lighting and (2-chloroethyl) trimethylammonium chloride. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, 82: 532–540, 1963.

CERDÁN, P.D.; CHORY, J. 2003. Regulation of flowering time by light quality. **Nature**, 423:881–885. 2003.

CONCEIÇÃO, D.C. **Análise da floricultura e da produção de substratos em municípios da região sul do Rio Grande do Sul**. 2008. 58p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

CRAIG, S.D; RUNKLE, E.S. A moderate to High Red to Far-red Light Ratio from Light-emitting Diodes Controls Flowering of Short-day Plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.138, n.3, p.167–172. 2013.

DALE, J. E. **The control of leaf expansion**. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, Palo Alto, v. 39, p. 267-295, 1988.

DOLE, J. M.; WILKINS, H. F. **Floriculture: principles and species**. 2. ed. New Jersey: Pearson, 2004. 1022 p.

FLÓREZ-RONCANCIO, V.J.; CASTRO, C.E.F.; DEMATTÊ, M.E.S.P. Manutenção da qualidade e aumento da longevidade floral de crisântemo cv. White Polaris. **Bragantia**, 55:2, 299-307, 1996.

GARDE, G.P.; MUNIZ, M.A.; PÊGO, R.G.; GROSSI, J.A.S. Data de desponete apical e intensidade luminosa no crescimento e qualidade de crisântemo de vaso. **Horticultura Brasileira**, v.31, p.659-663, 2013.

HEO, J.W.; LEE, C.W.; MURTHY, H.N.; PAEK, K.Y. Influence of light quality and photoperiod on flowering of Cyclamen persicum Mill.cv. “Dixie White”. **Plant Growth Regulation**, v.40, p.7-10, 2003.

HIGUCHI, Y.; SUMITOMO, K.; ODA, A.; SHIMIZU, H.; HISAMATSU, T. Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering. **Journal of Plant Physiology**, v. 169, p.1789– 1796, 2012.

HORI, Y.; NISHIDATE, K.; NISHIYAMA, M.; KANAHAMA, K.; KANAYAMA, Y. Flowering and expression of flowering-related genes under long-day conditions with light-emitting diodes. **Planta**, v.330, p.234-321, 2011.

ILIEVA, I.; IVANOVA, T.; NAYDENOV, Y.; DANDOLOV, I.; STEFANOV, D. Plant experiments with light-emitting diode module in Svet space greenhouse. **Advances in Space Research**, v.46, p.840–845, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **Padrão Ibraflor de qualidade**. 2016. Disponível em: http://www.ibraflor.com/p_qualidade.php. Acesso em: 05 jan, 2017.

JEONG, S.W.; HOGEWONING, S.W.; IEPEREN, W.V. Responses of supplemental blue light on flowering and stem extension growth of cut chrysanthemum. **Scientia Horticulturae**, v. 165, p. 69–74, 2014.

JUNQUEIRA, A. H; PEETZ, M. S. Panorama sócio-econômico da floricultura no Brasil. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 17, p. 101-108, 2011.

JUNQUEIRA, A.H.; PEETZ, M.S. Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: Características, tendências e importância socioeconômica recente. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.14, p.37-52, 2008.

KÄMPF, A.N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agrolivros, 2. Edição, 2005. 256 p.

KHATTAK, A.M.; PEARSON, S. Spectral filters and temperature effects on the growth and development of chrysanthemums under low light integral. **Plant Growth Regulation**, 49: 61–68, 2006.

KJAER, K.H.; OTTOSEN, C.O. Growth of Chrysanthemum in Response to Supplemental Light Provided by Irregular Light Breaks during the Night. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 136, n.1, p. 3–9, 2011.

KURILCIK, A.; DAPKUNIENE, S.; KURILCIK, G.; ZILINSKAITE, S.; ZUKAUSKAS, A.; DUCHOVSKIS, P. Effect of the photoperiod duration on the growth of Chrysanthemum plantlet *in vitro*. **Sodininkystei Darzininkyste**, 27, 39–46, 2008.

LAVILA, A.M. **El crisantemo cultivo, multiplicación y enfermedades**. Madri: Mundi Prensa, 1992. 170p.

LIAN, M. L.; MURTHY, H. N.; PAEK, K. Y. Effect of light emitting diodes (LEDs) on the *in vitro* induction and growth of bulblets of Lilium oriental hybrid ‘Pesaro’. **Scientia Horticulturae**, 94, 365–370. 2002.

LIAO, Y.; SUZUKI, K.; YU, Y.; ZHUANG, D.; TAKAI, Y.; OGASAWARA, R.; SHIMAZU, T.; FUKUI, H. Night-break effect of LED light with different wavelengths on shoot elongation of *Chrysanthemum morifolium* Ramat “Jimba” and “Iwa no hakusen.” **Environmental Control in Biology**, v.52,p.51-55, 2014.

LORRAIN, S.; ALLEN, T.; DUEK, P.D.; WHITELAM, G.C.; FANKHAUSER, C. Phytochrome-mediated inhibition of shade avoidance involves degradation of growth-promoting bHLH transcription factors. **Plant**. n. 53, p. 312–323, 2008

MARKS, T. R.; SIMPSON, S. E. Effect os irradiance on shoot development *in vitro*. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 28, n. 2, p. 133-142, June 1999.

- MARTIN, G. C. Apical dominance. **HortScience**, Alexandria, v. 22, n. 5, p. 824-833, 1987.
- MASSA, G.D.; KIM, H.H.; WHEELER, R.M.; MITCHELL, C.A. Plant productivity in response to LED lighting. **Hortscience**, v.43, n.7, p.1951–1956, 2008.
- MORROW, R.C. LED lighting in horticulture. **Hortscience**, v.43, p.1947–1950, 2008.
- MUNIZ, M.A; BARBOSA, J.G; GROSSI, J.A.S; ORBES, M.Y.; SÁ, P.G. Produção e qualidade de crisântemo de vaso fertirrigados com diferentes relações de nitrato/amônio. **Bioscience Journal**, v.25, p.75-82, 2009.
- MUNIZ, M.A; RODRIGUES, E. J. R.; GROSSI, J.A.S; BARBOSA, J.G; Gipsófila. In: PAIVA, P.D.O.; ALMEIDA, E.F.A. **Produção de flores de Corte: Volume 1**. Lavras: UFLA, 2012. v. 1, 244 p.
- NIEMI, K.; JULKUNEN-TIITTO, R.; TEGELBERG, R.; HAGGMAN, H. Light sources with different spectra affect root and mycorrhiza formation in Scot pine *in vitro*. **Tree Physiology**, Victoria, v. 25, n. 1, p. 123-128, 2005.
- OCHIAI, M; LIAO, Y; SHIMAZU, T; TAKAI, Y; SUZUKI, K; YANO, S; FUKUI, H. Varietal differences in flowering and plant growth under night-break treatment with LEDs in 12 chrysanthemum cultivars. **Environmental Control in Biology**, v.53,n.1, p.17-22, 2015.
- OUZOUNIS, T.; FRETTE, X.; ROSENQVIST, E.; OTTOSEN, O.C. Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, p. 1491–1499, 2014.
- PARKER, M.W.; HENDRICKS, S.B.; BORTHWICK, H.A.; SCULLY, N.J. Action spectrum for the photoperiodic control of floral initiation of short-day plants. **Botanical Gazette**, 108: 1–26, 1946.
- PETRY, C. **Plantas Ornamentais, aspectos para a produção**. Passo Fundo: Editora. Universidade de Passo Fundo, 2000. 160p.
- PINTO, R. A. **Projeto e implementação de lâmpadas para a iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz (LEDs)**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.
- PORTAL PLANALTO. **Lâmpadas incandescentes com potências de 61 a 100 watts não podem mais ser produzidas ou importadas no Brasil**. 2013. Disponível em: <http://www2.planalto.gov.br/imprensa/noticias-de-governo/lampadas-incandescentes-com-potencias-de-61-a-100-watts-nao-podem-mais-ser-produzidas-ou-importadas-pelo-brasil>. Acesso em: 25 fev, 2014.

PUSHNICK, J. C.; MILLER, G. W.; BROWN, J. C.; DAVIS, T. D.; BARNES, A. M. Influences of ultra-violet (UV)-blue light radiation on the growth of cotton. II. Photosynthesis, leaf anatomy, and iron reduction. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, n. 17, p. 2283-2297, 1987.

RAJAPSKE, N. C.; YOUNG, R. E.; McMAHON, M. J.; OI, R. Plant height control by photoselective filters: current status and future prospects. **Hortechology**, Alexandria, v. 9, p. 618-624, 1999.

RODRIGUES, T. M.; PAIVA, R.; RODRIGUES, C. R.; MORAES, D. N.; AVILA, F. W. de; PAIVA, P. D. O.; FAQUIM, V. RESENDE, M. L. **Crescimento de crisântemo “Puritan” sob diferentes substratos e doses de fósforo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 45, 2005, Fortaleza, Anais...Brasília: EMBRAPA HORTALIÇAS, 2005, v.23, n.2, CD-ROM.

RUNKLE, E.S., HEINS, R.D. Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants. **Acta Horticulturae**, v.711, p.51–60. 2006.

RUNKLE, E.S., HEINS, R.D.; CAMERON, C.A.; CARLSON W.H. Flowering of herbaceous perennials under various night interruption and cyclic lighting treatments. **HortScience**, v.33, p. 672–677. 1998.

RUNKLE, E.S.; PADHYE, S.R.; OH, W.; GETTER, K. Replacing incandescent lamps with compact fluorescent lamps may delay flowering. **Scientia Horticulturae**, 143: 56–61, 2012.

SAEBO, A.; KREKLING, T.; APPELGREN, M. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets *in vitro*. **Plan Cell, Tissue and Organ Culture**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 177-185, 1995.

SAEG **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SCHMIDT, C.M.; BELLÉ, R.A.; TOLEDO, C.N.A. Ácido giberélico (AG3) no crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) de corte “Viking”: cultivo verão/outono. **Ciência Rural**, v, 33, n.2, p. 267-274, 2003.

SCHUERGER, A. C.; BROWN, C. S.; STRYJEWSKI, E. C. Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) growth under red light emitting diodes supplemented with blue or far-red light. **Annals of Botany**, London, v. 79, n. 3, p. 273-282, 1997.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DO DISTRITO FEDERAL. **Flores e plantas ornamentais do Brasil: volume 1**. Brasília, DF: Sebrae DF, 2015.

SILVEIRA, R.B.A.; MINAMI, K. Qualidade de crisântemos (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev.) produzidos em diferentes regiões do Estado de São Paulo: Grupo Polaris. **Scientia Agricola**, v. 56, p. 67-75, 1999.

SPAARGAREN, J.J. Supplemental lighting for greenhouse crops. Hortilux Schre' - der B.V., The Netherlands and P.L. **Light Systems**, Inc., Ontario. 2001

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TANAKA, M.; TAKAMURA, T.; WATANABE, H.; ENDO, M.; YANAGI, T.; OKAMOTO, K. In vitro growth of cymbidium plantlets cultured under super bright and blue light-emitting diodes (LEDs). **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 73, p. 39–44. 1998.

VINCE-PRUE, D. **Photoperiodism in Plants**. McGraw-Hill, London. 1975.

WHITMAN, C.M.; HEINS, R.D.; CAMERON, A.C.; CARLSON, W.H. Lamp type and irradiance level for daylength extensions influence flowering of *Campanula carpatica* 'Blue Clips', *Coreopsis grandiflora* 'Early Sunrise', and *Coreopsis verticillata* 'Moonbeam'. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 123, n. 802–807. 1998.

YAMADA, A.; TANIGAWA, T.; SUYAMA, T.; MATSUNO, T.; KUNITAKE, T. Effects of red:far-red light ratio of night-break treatments on growth and flowering of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. **Acta Horticulturae**, v. 907, p.313–317. 2011.

YAMADA, A.; TANIGAWA, T.; SUYAMA, T.; MATSUNO, T.; KUNITAKE, T. Red:far-redlight ratio and far-red light integral promote or retard growth and flowering in *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. **Scientia Horticulturae**, v.120, p.101–106, 2011.

YANAGI, T.; YACHI, T.; OKUDA, N.; OKAMOTO, K. Light quality of continuous illuminating at night to induce floral initiation of *Fragaria chiloensis* L. CHI-24-1. **Scientia Horticulturae**, v. 109, p. 309–314. 2006.

YANG, Z.C.; KUBOTA, C.; CHIA, P.L.; KACIRA, M. Effect of end-of-day far-red light from a movable LED fixture on squash rootstock hypocotyl elongation. **Scientia Horticulturae**, v.136, p.81–86, 2012.

ZANOTELLI, M.F. **Avaliação do dispositivo LED no controle do florescimento do crisântemo (*Dendranthema grandiflora*Tzvelev.) 'Yoko Ono'**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ZHANG, T; MARUHNICH, S. A.; FOLTA, K. M. Green light induces shade avoidance symptoms. **Plant Physiology**, v. 157, n. 1528–1536. 2011.

ANEXO

Medição da Radiação Fotossinteticamente Ativa em ambiente controlado de lâmpada LED.

Medir a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) no interior da unidade experimental em três diferentes experimentos realizados em estufa do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

A unidade experimental era coberta a partir de quatro hastes metálicas em formato de arco, fixadas na vertical em uma mesa de aproximadamente 2,30 metros de comprimento. Uma lona plástica de cor preta foi colocada sobre as hastes para isolar o ambiente interno de fontes luminosas externas que poderiam afetar as medições.

Os Equipamentos utilizados foram:

- Radiômetro

Fabricante: LI-COR Biosciences Modelo: LI-250 A

- Espectrômetro

Fabricante: Photon Systems Instruments

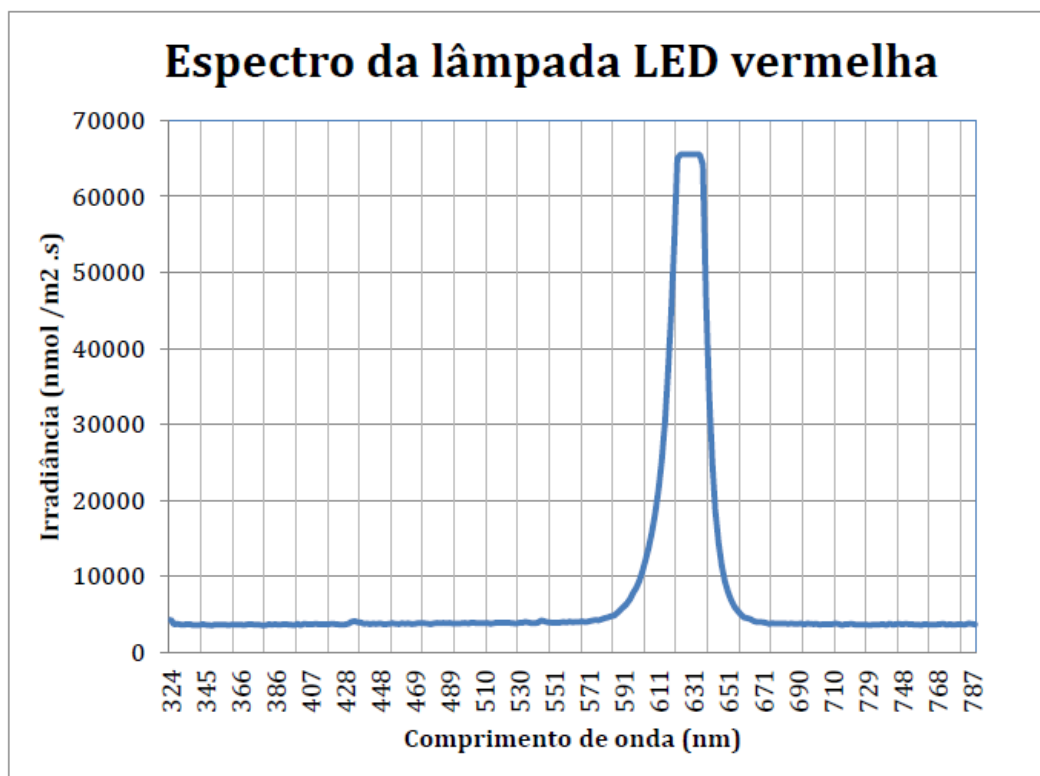
Modelo: SpectraPen SP 100



Radiômetro: LI-COR Biosciences Modelo: LI-250 A

O Espectrômetro é um instrumento óptico utilizado para medir as propriedades das luz em uma determinada faixa do espectro eletromagnético. Sua estrutura basicamente se resume a existência de uma rede de difração e um captador. A rede faz com que a luz incidente sobre a abertura do espectrômetro se divida em feixes de

onda aproximadamente monocromáticos, esses feixes incidem sobre os captadores que são sensores fotovoltaicos. Deste modo, temos uma leitura da intensidade luminosa de cada comprimento de onda que existe na composição de nosso feixe incidente.



Faixa espectral emitida pela lâmpadas de LED utilizadas nos experimentos.

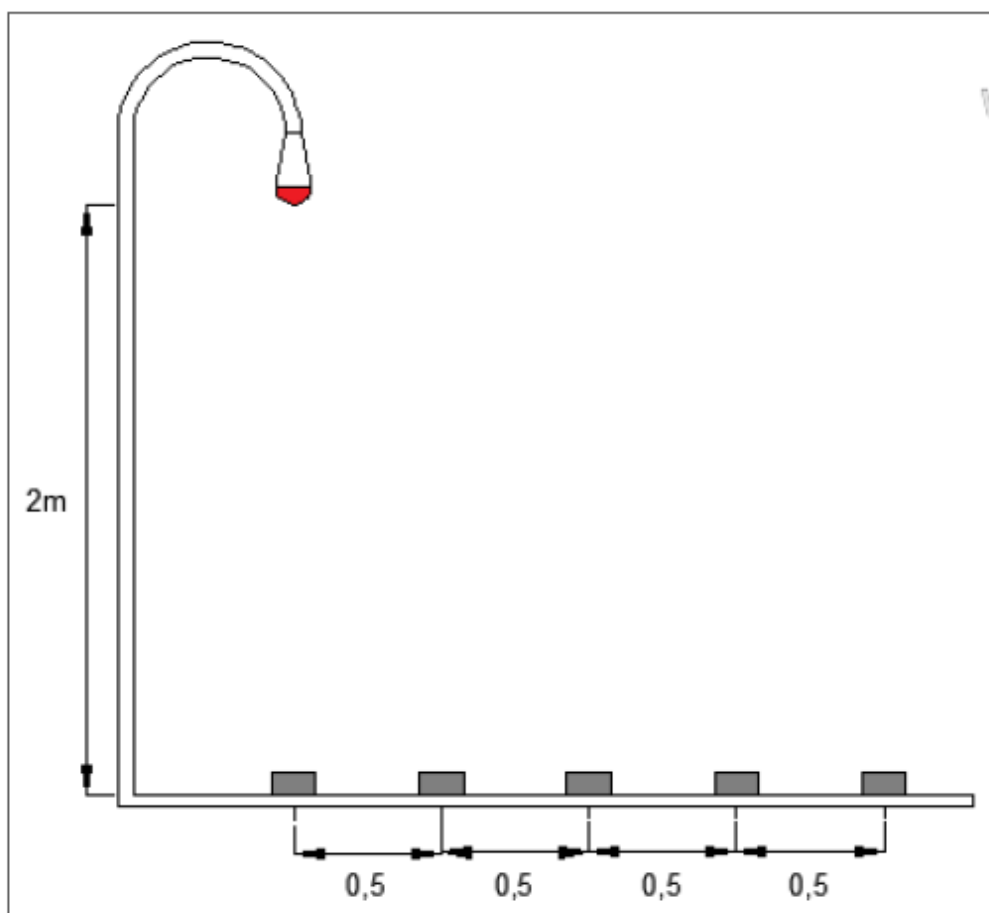
Experimento 1

Medir a intensidade luminosa em $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ que incide nos solo como lâmpadas de LED disposta a 1 e 2 metros de altura do solo.

Valores da radiação Fotossinteticamente ativa			
Distância Horizontal (m)	Distância Vertical (m)	Valor ($\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$)	Lux
0,0	1,0	2,0	37
0,0	2,0	0,6	12

Experimento 2

Medir a intensidade luminosa em $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ que incide a cada 50 centímetros em distâncias horizontais no solo em relação as lâmpadas de LED disposta a 2 metros de altura do solo.

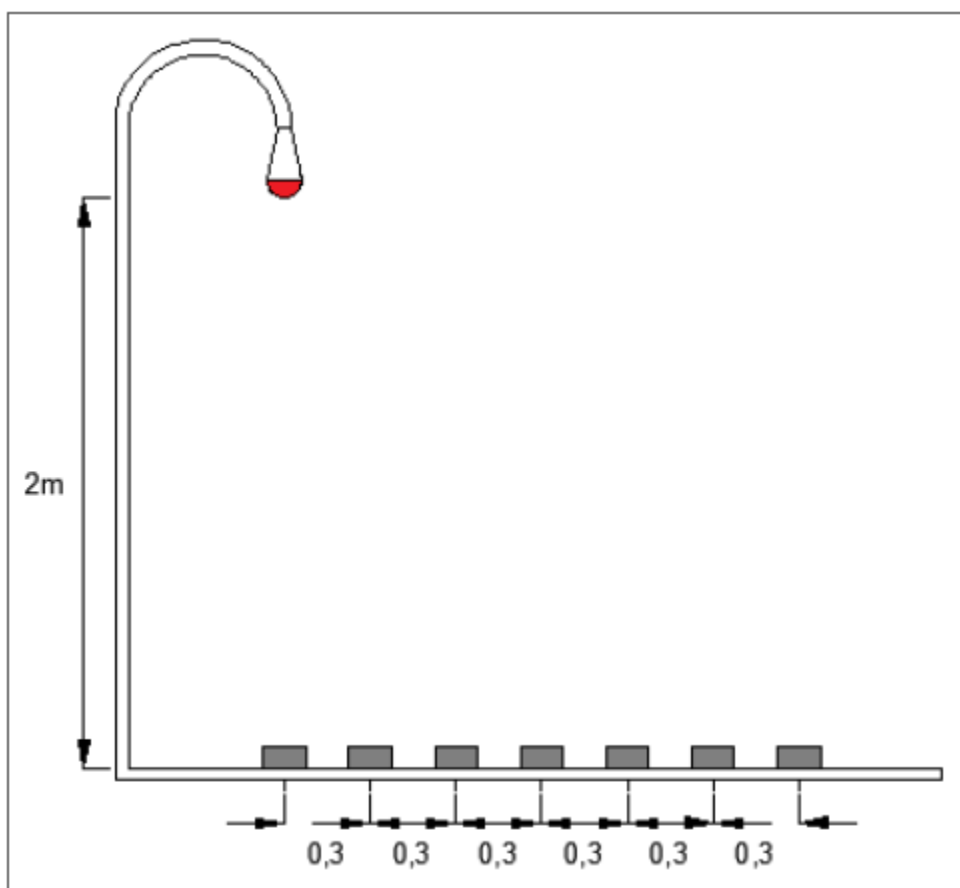


Esquema ilustrativo das distâncias entre os pontos de coleta da intensidade luminosa e a Lâmpada de LED no experimento 2.

Valores da radiação Fotossinteticamente ativa			
Distância Horizontal (m)	Distância Vertical (m)	Valor ($\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$)	Lux
0,0	2,0	0,60	12,1
0,5	2,0	0,53	10,0
1,0	2,0	0,35	7,2
1,5	2,0	0,20	4,5
2,0	2,0	0,09	1,8

Experimento 3

Medir a intensidade luminosa em $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ que incide a cada 30 centímetros em distâncias horizontais no solo em relação as lâmpadas de LED disposta a 2 metros de altura do solo.



Esquema ilustrativo das distâncias entre os pontos de coleta da intensidade luminosa e a Lâmpada de LED no experimento 3

Valores da radiação Fotossinteticamente ativa			
Distância Horizontal (m)	Distância Vertical (m)	Valor ($\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$)	Lux
0,0	2,0	0,60	12,2
0,3	2,0	0,59	11,5
0,6	2,0	0,49	9,7
0,9	2,0	0,39	7,3
1,2	2,0	0,29	6,1
1,5	2,0	0,20	4,5
1,8	2,0	0,14	2,7