

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

**DIODO EMISSOR DE LUZ NA ACLIMATAÇÃO DE MUDAS DE CANA-DE-
AÇÚCAR EM AMBIENTE PROTEGIDO**

**RECIFE-PE
2018**

**DIODO EMISSOR DE LUZ NA ACLIMATAÇÃO DE MUDAS DE CANA-DE-
AÇÚCAR EM AMBIENTE PROTEGIDO**

LUIZ ANTÔNIO DE ALMEIDA NETO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **Héilton Pandorfi**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

RECIFE-PE
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

A447d Almeida Neto, Luiz Antônio de
Diodo emissor de luz na aclimação de mudas de cana-de-
açúcar em ambiente protegido / Luiz Antônio de Almeida Neto. –
2018.
80 f. : il.

Orientador: Héilton Pandorfi.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, Recife, BR-PE, 2018.
Inclui referências.

1. Biofotônica, 2. Muda pré-brotada, 3. Radiação
fotossinteticamente ativa 4. Qualidade de radiação I. Pandorfi,
Héilton, orient. II. Título

CDD 631

LUIZ ANTÔNIO DE ALMEIDA NETO

**DIODO EMISSOR DE LUZ NA ACLIMATAÇÃO DE MUDAS DE CANA-DE-
AÇÚCAR EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Tese defendida e aprovada em 23 de fevereiro de 2018 pela Banca Examinadora:

Orientador:

Héilton Pandorfi, Prof. Dr.
DEAGRI-UFRPE

Examinadores:

José Antônio Delfino Barbosa Filho, Prof. Dr.
UFC

Alex Souza Moraes, Prof. Dr.
DQ/UFRPE

Gledson Luiz Pontes de Almeida, Prof. Dr.
DEAGRI/UFRPE

Cristiane Guiselini, Profa. Dra.
DEAGRI/UFRPE

*Aos meus pais, Lamartine Almeida e Ana Lucia Pires, por
todo apoio, confiança e amor incondicional.*

Ao meu irmão, Lamartine Júnior, pela amizade e companheirismo.

À minha noiva, Pollyanna Amorim, pela compreensão, paciência, carinho e incentivo.

Aos meus amigos.

DEDICO E OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me deu saúde e a oportunidade de continuar a minha caminhada na busca pelos meus sonhos.

À minha família, que esteve sempre ao meu lado, partilhando das dificuldades e exaltando as alegrias.

Ao professor Dr. Héilton Pandorfi, pela orientação atenciosa, confiança, incentivo, compreensão, tempo dedicado e contribuição na realização deste trabalho. Ficarei sempre grato por todo apoio e atenção que me foram dados.

À professora Dra. Cristiane Guiselini, por sua disposição, paciência, incentivo e alegria. Foi um prazer tê-la como exemplo, e também, poder partilhar de sua amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela oportunidade e todo conhecimento adquirido.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos para a realização do doutorado.

À EECAC (Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina) por permitir a realização da pesquisa no interior de suas instalações e ao Professor Dimas Menezes por permitir e disponibilizar as instalações do ambiente protegido do departamento de fitotecnia da UFRPE, para realização da pesquisa.

Aos meus amigos do Grupo de Pesquisa em Ambiência (GPESA), pelos momentos de trabalho, dedicação, companheirismo e brincadeiras. Em especial ao José Jairo, com quem dividi os trabalhos, as dúvidas e não me negou apoio em nenhum momento, com quem foi um prazer estudar e trabalhar.

Aos meus amigos de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela amizade, apoio, companheirismo e momentos de felicidade. Em especial a minha turma (Cleene Lima, José Jairo, Breno Lima e Miguel Júlio).

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| RESUMO | xi |
| ABSTRACT | xii |
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1. Introdução geral..... | 2 |
| 2. Hipóteses | 3 |
| 3. Objetivos | 4 |
| 4. Revisão bibliográfica..... | 4 |
| 4.1. Importância socioeconômica da cana-de-açúcar | 4 |
| 4.2. Propagação da cana-de-açúcar..... | 5 |
| 4.3. Aclimatização em ambiente protegido | 6 |
| 4.4. Radiação Solar..... | 8 |
| 4.5. Efeitos da radiação solar em plantas de metabolismo C4 | 11 |
| 4.6. Diodo emissor de luz e sua aplicação agrícola | 12 |
| 4.7. Análise de componentes principais | 15 |
| 5. Referências Bibliográficas | 16 |
| CAPÍTULO II | 26 |
| RESUMO | 27 |
| ABSTRACT | 28 |
| 1. Introdução..... | 29 |
| 2. Material e Métodos..... | 30 |
| 3. Resultados e Discussão | 34 |
| 4. Conclusões | 45 |
| 5. Referências Bibliográficas | 45 |
| CAPÍTULO III | 50 |
| RESUMO | 51 |
| ABSTRACT | 51 |
| 1. Introdução..... | 52 |
| 2. Material e Métodos..... | 53 |
| 3. Resultados e Discussão | 56 |
| 4. Conclusões | 63 |
| 5. Referências Bibliográficas | 64 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 68 |

LISTA DE FIGURAS

Capítulo II – Biofotônica: Aclimação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em ambiente protegido

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localização da unidade experimental | 30 |
| Figura 2. Dimensões da bandeja utilizadas para a produção de mudas..... | 31 |
| Figura 3. Distribuição espectral do sistema de iluminação nas cores vermelho e azul (A). Vista das bancadas de cultivo com os sistemas de iluminação suplementar de LED instalados (B)..... | 32 |
| Figura 4. Representação esquemática do delineamento experimental | 34 |
| Figura 5. Variação diária da temperatura média do ar no interior do ambiente protegido e no ambiente externo ao longo do período experimental..... | 35 |
| Figura 6. Variação diária da umidade relativa do ar, máxima, média e mínima no interior do ambiente protegido e no ambiente externo ao longo do período experimental | 36 |
| Figura 7. Variação da radiação solar global dos tratamentos estudados no interior do ambiente protegido e no ambiente externo ao longo do período experimental..... | 37 |
| Figura 8. Relações entre a radiação solar global observada no ambiente externo e sob os sistemas de iluminação no interior do ambiente protegido ao longo do período experimental: V:A 70/30 (A); V:A 90/10 (C); V:A 80/20 (B) e controle (D) | 38 |
| Figura 9. Variação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em cada um dos tratamentos estudados..... | 39 |
| Figura 10. Variação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) a cada 15 min para o dia de maior radiação solar global: 11/12/2017 (A) e menor radiação solar global: 29/12/2017 (B) no interior do ambiente protegido..... | 40 |
| Figura 11. Distribuição espectral dos sistemas de iluminação LED e do controle | 41 |
| Figura 12. Análise de componentes principais das variáveis biométricas e micrometeorológicas para cada sistema de iluminação até 20 DAP. Coeficientes (A) e scores (B)..... | 43 |
| Figura 13. Análise de componentes principais das variáveis biométricas e micrometeorológicas para cada sistema de iluminação aos 40 DAP. Coeficientes (A) e scores (B)..... | 44 |

Capítulo III - Desempenho em campo de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar submetidas a iluminação suplementar na fase de aclimatação

| | |
|--|----|
| Figura 1. Vista da bancada de rustificação | 55 |
| Figura 2. Croqui da área experimental | 55 |
| Figura 3. Variação diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação ao longo do período experimental | 59 |
| Figura 4. Variação diária da umidade relativa do ar e da temperatura do ar ao longo do período experimental | 59 |
| Figura 5. Variação diária da radiação solar global longo do período experimental | 60 |

LISTA DE TABELAS

Capítulo II – Biofotônica: Aclimação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em ambiente protegido

Tabela 1. Concentrações de sais e fertilizantes para o preparo de solução nutritiva..... 32

Tabela 2. Proporções da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) média ao longo do período em relação à radiação solar global no interior do ambiente protegido (RFA/Rg) 39

Capítulo III – Desempenho em campo de mudas pré-brotadas submetidas a iluminação suplementar na fase de aclimação

Tabela 1. Valores médios das variáveis biométricas das mudas ao fim da fase de aclimação (40 DAE) 57

Tabela 2. Valores médios do número de plantas mortas (NPM) e percentual de sobrevivência (%S) aos 45 e aos 227 dias após o plantio (DAP)..... 61

Tabela 3. Valores médios das variáveis biométricas da planta: altura da planta (AP), comprimento do colmo (CC), diâmetro do colmo (DC) e número de perfilhos (NP) aos 227 DAP 62

DIODO EMISSOR DE LUZ NA ACLIMATAÇÃO DE MUDAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM AMBIENTE PROTEGIDO

RESUMO

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos da agricultura brasileira. Devido a sua importância sócio econômica, torna-se cada vez mais relevante a compreensão da influência das variáveis ambientais no seu desenvolvimento, bem como a interação dessas variáveis com as novas aplicações tecnológicas. Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito da qualidade da iluminação artificial suplementar, a base de diodo emissor de luz (LED), na aclimatação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em ambiente protegido e o seu desempenho no campo. A pesquisa foi conduzida em duas etapas, a primeira realizada em ambiente protegido localizado na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, composto por três sistemas de iluminação suplementar de LEDs, em que a proporção de luz foi de 90% vermelha + 10% azul (V:A 90/10), 80% vermelha + 20% azul (V:A 80/20), 70% vermelha + 30% azul (V:A 70/30) e, controle, com radiação solar natural, com 5 repetições. Para caracterização micrometeorológica no interior do ambiente protegido e no ambiente externo, foram instalados sensores conectados a uma plataforma automática de registro de dados; temperatura do ar (T_a , °C), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (Q_g , MJ m⁻² dia⁻¹ e W m⁻²) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA, MJ m⁻² dia⁻¹ e W m⁻²). O espectro da radiação solar no interior do ambiente protegido foi obtido por meio de um espectrômetro. A avaliação do crescimento das mudas foi realizada por meio de indicadores biométricos: altura da planta (AP, cm); comprimento do colmo (CC, cm); diâmetro do colmo (DC, cm); número de folhas (NF); largura e comprimento da folha (LF e CF, cm), comprimento da raiz (CR, cm), área foliar (AF, cm²), volume de raiz (VR, mm³), massa seca da parte aérea (MSPA, g) e da raiz (MSR, g). A segunda etapa foi realizada na estação experimental de cana-de-açúcar de Carpina (EECAC-UFRPE). As parcelas experimentais foram compostas por mudas pré-brotadas aclimatizadas em ambiente protegido, expostas aos sistemas de iluminação suplementar. O delineamento foi em blocos casualizados, com cinco repetições. A avaliação do crescimento das plantas no campo foi realizada por meio de indicadores biométricos: altura da planta (AP, cm); comprimento do colmo (CC, cm); diâmetro do colmo (DC, cm) e o número de perfilhos (NP). Verificou-se que os diferentes

sistemas de iluminação por LED promoveram acréscimo na RFA, no entanto, até os 20 dias após o plantio as mudas sofreram pouca influência dos sistemas de iluminação suplementar. Ao fim do período de aclimação as mudas de cana-de-açúcar submetidas ao sistema de iluminação V:A 80/20 apresentaram maior associação com o crescimento e porte das mudas. As variáveis biométricas obtidas na segunda etapa da pesquisa não apresentaram diferenças significativas, no entanto, as plantas submetidas aos sistemas de iluminação com maior proporção do comprimento de onda vermelho (V:A 80/20 e V:A 90/10), apresentaram maior percentual de sobrevivência no campo e plantas de maior porte.

Palavras-chave: biofotônica, muda pré-brotada, radiação fotossinteticamente ativa, qualidade de radiação

LIGHT-EMITTING DIODE IN THE ACCLIMATION OF SUGARCANE SEEDLINGS UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

ABSTRACT

Sugarcane is one of the main products of Brazilian agriculture. Due to its socioeconomic importance, it becomes increasingly important to understand the influence of environmental variables in its development, as well as the interaction of such variables with new technological approaches. The aim of this research was to evaluate the effect of the quality of supplementary artificial lighting, the light-emitting diode base (LED), in the acclimation of pre-sprouted sugarcane seedlings under greenhouse conditions and its performance in the field. The research was carried out in two stages, the first performed in a greenhouse located in the experimental area of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE). The experimental design was completely randomized, composed of three supplementary lighting LED systems, in which the proportion of light was 90% Red + 10% Blue (R:B 90/10), 80% Red + 20% Blue (R:B 80/20), 70% Red + 30% Blue (R:B 70/30), and control, with natural solar radiation, with 5 replicates. For micrometeorological characterizing inside the greenhouse and in the external environment, sensors connected to a data logging automatic platform were installed, where air temperature (T_a , °C), relative humidity (UR, %), global solar radiation (R_g , MJ $m^{-2} day^{-1}$ and $W m^{-2}$), and photosynthetically active radiation (RFA, MJ $m^{-2} day^{-1}$ and $W m^{-2}$) were measured. The spectrum of solar radiation inside the greenhouse was obtained

with a spectrometer. The evaluation of seedling growth of was performed through biometric indicators: plant height (AP, cm); stem length (CC, cm); stem diameter (DC, cm); leaf number (NF); leaf width and length (LF and CF, cm), root length (CR, cm), leaf area (AF, cm²), root volume (VR, mm³), shoot dry mass (MSPA, g) and root dry mass (MSR, g). The second stage was performed at the Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC-UFRPE). The experimental plots were composed of pre-sprouted seedlings acclimatized in a greenhouse, exposed to the supplementary lighting systems. The experimental design was randomized blocks with 5 replicates. Plant growth evaluation in the field followed the measurement of some biometric indicators: plant height (AP, cm); stem length (CC, cm); stem diameter (DC, mm) and tillers number (NP). It was found that the different LED systems promoted an increase in the PAR; however, until 20 days after planting supplementary lighting systems had little influence on the seedlings growth. At the end of the period of acclimatization, sugarcane seedlings subjected to the lighting system R:B 80/20 showed a greater association with the growth and size of seedlings. The biometric indicators obtained in the second stage of the research showed no significant differences, though plants under lighting systems with a greater proportion of the red wavelength (R:B 80/20 and R:B 90/10) were larger and presented a higher percentage of survival in the field.

Keywords: biophotonics, pre-sprouted seedlings, photosynthetic active radiation, radiation quality

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Introdução geral

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (CONAB, 2017), uma das culturas mais importantes do mundo, cultivada principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, em extensa área. É a principal matéria-prima utilizada para a fabricação de açúcar e etanol, sendo importante fonte de renda, geração de empregos e desenvolvimento para o país (OLIVEIRA FILHO et al., 2015).

No Nordeste do Brasil a cana-de-açúcar ocupa grande área de Tabuleiros Costeiros, onde a topografia, a profundidade e a textura do solo favorecem o cultivo (PACHECO et al., 2011). O clima ideal é aquele com duas estações distintas, uma estação quente e úmida, para proporcionar a germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, seguido de outra fria e seca, para promover a maturação e consequente acúmulo de sacarose nos colmos (CAPUTO et al., 2008). Em Pernambuco, as áreas de produção de cana-de-açúcar estão distribuídas na Zona da Mata Sul, Norte e Região Metropolitana de Recife, onde as lavouras de cana-de-açúcar ocupam a quase totalidade das áreas cultivadas da região (CONAB, 2017).

O Brasil possui vantagens para atender a demanda por biocombustíveis, como abundantes recursos de terra e água, quando comparado com outros produtores. No entanto, a taxa de ganho de produção da cana-de-açúcar no Brasil tem sido baixa e a produtividade média permanece inferior aos níveis alcançados por outros países produtores. O desafio é a aumentar a produtividade das áreas já cultivadas, como também, a conversão de pastagens, sem expansão de novas áreas. (MARIN et al., 2016).

A cada novo plantio de cana-de-açúcar utiliza-se parte da produção do ano anterior, que poderia ser destinada à indústria, para renovação do canavial. Com a utilização da técnica de propagação de mudas pré-brotadas (MPB) espera-se aumentar a uniformidade das linhas de plantio, reduzir a quantidade de gemas e colmos por hectare, utilizados na operação, tornando o processo mais eficiente do que o plantio convencional.

A forma de distribuição espacial das mudas nas áreas de produção induz ao melhor aproveitamento dos recursos hídricos e nutricionais do solo, o que reduz a competição intraespecífica estabelecida em canaviais com excesso de mudas, situação bastante comum em áreas comerciais de plantio mecanizado (LANDELL et al., 2012). A utilização do cultivo em ambiente protegido, na produção de mudas de cana-de-açúcar, proporciona um microclima favorável nos estádios iniciais de crescimento da plântula, uma vez que essa técnica permite modificar e controlar variáveis meteorológicas como temperatura do

ar, umidade relativa do ar e radiação solar. Ademais, o controle fitossanitário pode ser realizado com maior eficiência, o que contribui para a produção de mudas saudáveis e de qualidade (BEZERRA, 2003). A disponibilidade de área destinada à expansão do cultivo da cana-de-açúcar está cada vez mais escassa, sendo indispensável à adoção de novas técnicas e o manejo correto da cultura, em busca de maior qualidade e produtividade dos canaviais.

Novas tecnologias de iluminação, como o emprego dos diodos emissores de luz (LED), têm potencial para suprir as necessidades de intensidade e comprimentos de ondas específicos às mudas, como também fornecer quantidade e qualidade de radiação essencial para as diferentes fases de crescimento, em que a biomassa e os produtos metabólicos das plantas podem ser modificados (DARKO et al., 2014).

A utilização dos LEDs tem demonstrado bons resultados em termos de produtividade máxima e qualidade nutricional ideal para os vegetais, com isso abre-se o caminho para maior aceitação da tecnologia em ambientes protegidos (SINGH et al., 2015).

O conhecimento das alterações biométricas, fisiológicas e sua interação com as variáveis micrometeorológicas pode fornecer subsídios para adoção do manejo que permita incrementar a qualidade das plantas. Nesse contexto, o uso de técnicas estatísticas multivariadas facilita a interpretação dos dados, uma vez que a análise simultânea, possibilita obter informações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada.

Diante do exposto, pretende-se associar aspectos relacionados ao uso de diodo emissor de luz (LED) ao manejo das modificações micrometeorológicas e sua influência no desenvolvimento de mudas, com ênfase na viabilidade técnico-econômica da adequação do sistema de produção às exigências da cultura, garantindo qualidade e produtividade.

2. Hipóteses

A cana-de-açúcar apresenta respostas de crescimento e desenvolvimento vegetativo, diferenciadas quando submetidas a comprimentos de onda específicos.

O manejo da radiação fotossinteticamente ativa no interior do ambiente protegido promove ganhos no crescimento de mudas de cana-de-açúcar.

O uso da iluminação suplementar a base de diodos emissores de luz, proporciona mudas de cana-de-açúcar mais vigorosas ao fim do período de aclimação, tal como seu desenvolvimento no campo.

3. Objetivos

Avaliar o efeito da qualidade da iluminação artificial suplementar, a base de diodo emissor de luz (LED), na aclimação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em ambiente protegido e o seu desempenho no campo.

Nesse contexto, os objetivos específicos foram:

Avaliar a influência da suplementação da radiação fotossinteticamente ativa no interior do ambiente protegido sobre o desenvolvimento das mudas de cana-de-açúcar;

Verificar qual proporção de faixas do comprimento de onda vermelho e azul, dentro do espectro do visível, favorece o desenvolvimento das mudas;

Avaliar o efeito da utilização de LEDs, bem como a proporção de comprimentos de onda na faixa do vermelho e azul, sobre os parâmetros biométricos e fisiológicos das mudas de cana-de-açúcar;

Avaliar o desenvolvimento das mudas no campo, após o período de aclimação em ambiente protegido.

4. Revisão bibliográfica

4.1. Importância socioeconômica da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) foi introduzida no Brasil em 1532 e sempre possuiu importância na economia do país. É na atualidade uma das culturas mais importantes no cenário socioeconômico brasileiro, por ser a principal matéria prima utilizada pela indústria para a produção de açúcar e etanol (BENETT et al., 2011; CONAB, 2014).

Para Caputo et al. (2008) a importância da cana-de-açúcar é consequente de sua múltipla aptidão, sendo empregada, sob forma de forragem, para alimentação animal, ou como matéria-prima para a fabricação de rapadura, melado, aguardente, além do açúcar e do etanol. Seus resíduos também possuem destacada importância econômica, o vinhoto é utilizado como adubo e o bagaço, como combustível. Segundo Silva et al. (2014a) entre as grandes culturas, a cana-de-açúcar se destaca como a planta de maior potencial para a produção de massa seca e energia por unidade de área em um único corte por ano.

A cana-de-açúcar é uma espécie adaptada a condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água, portanto, ideal para o cultivo em regiões tropicais (SEGATO et al., 2006).

O Brasil é o maior produtor da cultura, seguido por Índia e China, como também o maior produtor de açúcar e etanol de cana-de-açúcar. Sendo responsável por mais de 50% do açúcar comercializado no mundo. Apesar de pouco mais da metade da produção estar concentrada no estado de São Paulo, a cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões do país. De um modo geral, o país tem dois calendários de colheita, um para a Região Nordeste, que vai de setembro a abril e outro para o restante do país, de maio a novembro (CONAB, 2014).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2017), a estimativa é que a área colhida de cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2017/18 seja de 8.738,6 mil hectares, número 3,4% menor em relação à safra passada. Em todas as regiões houve redução de área, sobretudo, a Região Centro-Sul (-3,5%), principal produtora nacional. A diminuição na área cultivada em São Paulo, maior produtor nacional, foi de 219,6 mil hectares. A produtividade estimada para safra 2017/18 é de 72.734 kg ha⁻¹. O pequeno incremento observado em relação à safra passada (0,2%) está relacionado com a recuperação das lavouras na Região Norte-Nordeste.

4.2. Propagação da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar trata-se de uma planta de reprodução sexuada, porém, quando cultivada comercialmente, a propagação é realizada vegetativamente, ou seja, de forma assexuada a partir do rebolo (tolete ou olhadura), parte da planta contida de gemas, reservas nutricionais, água e hormônios vegetais. Após o momento em que o rebolo é coberto com solo, se houver disponibilidade de água, inicia-se a ativação das enzimas e a produção de hormônios que controlam a divisão e o crescimento celular, tanto da gema quanto dos pontos dos primórdios das raízes na zona radicular (JADOSKI et al., 2010; LANDELL et al., 2012).

Uma das características de maior importância nas variedades de cana-de-açúcar é a capacidade de brotação inicial, por constituir uma fase importante no estabelecimento da cultura. Para que apresente boa produtividade final, deve-se levar em consideração fatores indispensáveis à otimização da cultura, como a escolha da área e da variedade, a sanidade

da muda, a época de plantio, o preparo do solo, a profundidade de plantio, a cobertura dos toletes e a distribuição no sulco (JADOSKI et al., 2010).

Desde o início da cultura da cana-de-açúcar no Brasil, a forma como é plantada praticamente não mudou. Apenas nos últimos anos foram desenvolvidos estudos específicos com o objetivo de desenvolver novas formas de plantio, etapa crucial para estabelecimento da cultura (GÍRIO, 2014).

A micropropagação tem sido adotada no Brasil para a produção de mudas de cana-de-açúcar de qualidade. Esse método vem sendo utilizado de maneira eficiente nos últimos anos, para a formação de matrizeiros, com a instalação de laboratórios e biofábricas que produzem mudas propagadas de diferentes espécies, incluindo variedades elite de cana-de-açúcar (MELO et al., 2014).

O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), direcionado a aumentar a eficiência e os ganhos econômicos na implantação de viveiros, replantio de áreas comerciais, renovação e expansão de áreas de cana-de-açúcar, desenvolveu a técnica muda pré-brotada (MPB), sistema de multiplicação que visa à produção rápida de mudas, de elevado padrão fitossanitário, vigor e uniformidade de plantio. O sistema aumenta a uniformidade nas linhas de plantio e, conseqüentemente a redução de falhas, que diminui o número de gemas, 15 a 21 gemas m^{-1} , e de toneladas de colmos na operação de plantio mecanizado, em torno de 20 t ha^{-1} (LANDELL et al., 2012).

Segundo Morgado et al. (2000) na atividade canavieira a produção de mudas com elevado padrão de qualidade constitui-se numa fase importante do processo produtivo. Para os autores a qualidade das mudas é fundamental, pois influencia na percentagem de sobrevivência, na velocidade de crescimento e na produção final. Além disso, mudas de melhor qualidade, por terem maior potencial de crescimento, exercem melhor controle da vegetação invasora e diminui os custos com os tratamentos culturais.

4.3. Aclimatização em ambiente protegido

Parte significativa da pesquisa agrícola e da produção mundial de plantas ornamentais e hortaliças é realizada em ambientes protegidos ou telados, na maioria dos casos, sem controle artificial das variáveis ambientais (radiação solar, umidade relativa e temperatura do ar). O uso da cobertura plástica surgiu como alternativa na proteção de hortaliças e flores, diante das adversidades climáticas (REBOUÇAS et al., 2015).

Esta prática visa aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos agrícolas e, assim, amenizar as variações sazonais na produção, o que é possível devido ao fato da proteção diminuir os efeitos adversos do excesso de chuva e da alta incidência de radiação solar (REIS et al., 2012).

O termo aclimatização está relacionado ao processo durante o qual, as plantas ou outros organismos se ajustam a uma nova condição ambiental ou estímulo do ambiente, como resultado de processos naturais. A aclimatização implica na interferência que os seres humanos realizam no processo. Dessa forma, tem-se o processo de transferência de plantas cultivadas *in vitro* para o ambiente protegido ou campo, denominado de aclimatação (PREECE & SUTTER, 1991). Gomes-Filho et al. (2014) definem aclimatação como as mudanças adaptativas em resposta a uma variável ambiental controlada, normalmente produzidas em câmeras climáticas.

Alguns fatores que interferem no processo de aclimatização estão diretamente relacionados e, dentre os mais importantes estão, a manutenção da umidade relativa do ar, as condições de iluminação e o uso adequado de recipientes e substratos (BRAGA et al., 2011). Para Guiselini et al. (2010), a manutenção de condições micrometeorológicas adequadas para as culturas no interior dos ambientes protegidos pode ser obtida por meio de diversas técnicas, sendo uma delas o controle da radiação solar incidente no interior do ambiente protegido.

Ao analisarem os efeitos da radiação solar global e da temperatura do ar na aclimatização de mudas de cana-de-açúcar sob diferentes coberturas, Guiselini et al. (2013), concluíram que a maior disponibilidade de radiação solar global proporcionou maior porcentagem de sobrevivência, assim como, melhor desenvolvimento das mudas de cana de açúcar.

A pesquisa acerca dos efeitos dos diodos emissores de luz (LEDs) sobre o metabolismo fotossintético primário e secundário das plantas, bem como as modificações na qualidade e intensidade da radiação em diferentes fases do crescimento pode contribuir para os avanços na iluminação a base de LED, no cultivo de plantas em ambientes controlados (DARKO et al., 2014).

A redução dos custos de energia gerados pela utilização dos LEDs torna sua aplicação viável em ambientes protegidos, obtendo-se o retorno do investimento a longo prazo. Para utilizar todo o potencial dos LEDs, como fonte de radiação no cultivo em ambiente protegido, é necessário ainda investigar os processos fisiológicos não compreendidos que influenciam as respostas das plantas (SINGH et al. 2015).

4.4. Radiação Solar

A radiação solar é o principal elemento meteorológico, pois afeta todos os outros elementos (temperatura, pressão, vento, chuva, umidade, dentre outros). É a fonte primária de energia para o processo de fotossíntese, responsável pela produção vegetal. No estudo da fotossíntese, a intensidade depende mais do número de fótons na banda de comprimentos de onda ativos para o processo, do que da energia global. Além do balanço energético condicionar a temperatura e afetar os processos fisiológicos de uma planta, a radiação solar atua, também, como desencadeador de processos morfogênicos, de regulação fitocrômica do desenvolvimento e de fototropismo (ANGELOCCI, 2002).

A temperatura do ar interfere na velocidade das reações bioquímicas e na ação de enzimas envolvidas na divisão, diferenciação e crescimento celular e, portanto, é uma das variáveis que mais influenciam na brotação (JADOSKI et al., 2012).

Cardozo & Sentelhas (2013) ressaltam que a temperatura do ar está diretamente relacionada aos processos de crescimento e amadurecimento da cana-de-açúcar. Quando a temperatura ultrapassa 20 °C, há um aumento na taxa de crescimento da cultura, sendo que a faixa de 25 a 33 °C é a mais favorável ao desenvolvimento vegetativo (ALMEIDA et al., 2008). Para Marin et al. (2009) a temperatura do ar é um dos fatores mais importantes na produção da cana-de-açúcar, com temperatura ótima para seu desenvolvimento entre 20 e 30 °C e seu crescimento é nulo com valores inferiores a 16 °C e superiores a 38 °C, em campo.

Guerra et al. (2014), avaliaram o efeito da temperatura do ar sobre a fotossíntese e o desenvolvimento na fase inicial de crescimento da cana-de-açúcar cultivada em câmara climatizada e constataram que baixas temperaturas reduziram não só a eficiência fotossintética das plantas de cana-de-açúcar, como também o desenvolvimento e crescimento (altura das plantas, massa seca e diâmetro do colmo). Altas temperaturas (33 °C diurna e 27 °C noturna) não afetaram a eficiência fotossintética das plantas de cana-de-açúcar, as quais apresentaram aumento em altura e redução do diâmetro do colmo.

Segundo Kunz et al. (2007) a radiação solar destaca-se nas pesquisas recentes que buscam explorar o maior rendimento das culturas, e que, embora a temperatura e o fotoperíodo sejam os principais fatores que atuam sobre o desenvolvimento vegetal, do ponto de vista quantitativo e qualitativo, a radiação solar é fundamental para o desenvolvimento e o crescimento vegetal na agricultura, efetuado pelos processos fotomorfogênicos e fotossintéticos.

As exigências microclimáticas de uma planta, seu rendimento e a qualidade produtiva, dependem, sobretudo, da radiação solar absorvida, que é condicionada pela área foliar e sua eficiência de interceptação de energia radiante (PILAU & ANGELOCCI, 2015). Porém, apenas uma porcentagem da radiação solar é utilizada na fotossíntese, que corresponde à faixa do espectro solar entre os comprimentos de onda de 400 a 700 nm. Esta energia radiante é denominada radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (FERREIRA JUNIOR et al., 2012).

De acordo com Jadoski et al. (2010) a radiação solar é o fator mais importante para o perfilhamento da cana-de-açúcar, pois a iluminação adequada na base da planta, durante este período, ativa gemas vegetativas basais. Sob o efeito da alta intensidade radiante, o fluxo de auxinas do ápice para a base seria diminuído e, em consequência, haveria decréscimo no grau de inibição das gemas laterais, o que resultaria na formação dos perfilhos. No caso da baixa intensidade radiante, assim como em estações de dias curtos, o perfilhamento será diminuído ou cessado, a depender do grau de manifestação da radiação, em termos de intensidade e duração.

As plantas são capazes de se adaptar e modificar seu ciclo biológico, de acordo com os sinais ambientais percebidos. Os comprimentos de onda específicos estão entre esses sinais. Estas, percebem as mudanças na qualidade da radiação por meios de diferentes tipos de fotorreceptores, o que inclui os fitocromos. Esta regulação é complexa e específica para cada processo fisiológico (DEMOTES-MAINARD et al., 2016). Segundo Singh et al. (2015) a qualidade da radiação refere-se à sua distribuição espectral, isto é, qual parte da emissão está nas faixas de comprimento de onda azul, verde, vermelho ou outra visível ou invisível.

Do total de energia solar que chega à superfície terrestre, 51,3% correspondem aos comprimentos de onda da radiação não fotossintética, e 48,7% correspondem à radiação fotossinteticamente ativa (BERGAMASHI & BERGONCI, 2017).

A presença de diferentes tipos de pigmentos fotossintetizantes permite que as plantas aproveitem a radiação ao longo de toda a região da luz visível. Além disso, as clorofilas são capazes de absorver com eficiência dois comprimentos de onda distintos: um mais energético (azul, 430 nm) e outro menos energético (vermelho, 660 nm) (KLUGE et al., 2015).

O espectro de radiação solar é composto, em especial, por três faixas: ultravioleta (10-400 nm), luz visível (400-700 nm) e infravermelho (700-3000 nm). Os principais efeitos

que cada faixa exerce sobre as plantas são apresentados a seguir, de acordo com Singh et al. (2015):

200-280 nm (ultravioleta C; UVC) - esta faixa do espectro é prejudicial ao desenvolvimento da planta. O UVC não atinge a superfície terrestre, pois é bloqueado pela camada de ozônio;

280-315 nm (ultravioleta B) - esta faixa não é muito prejudicial, mas faz com que as plantas percam a sua coloração natural;

315-380 nm (ultravioleta A) - não possui efeito relevante no crescimento das plantas;

380-400 nm (luz ultravioleta A/visível) - início do espectro de luz visível, onde inicia-se o processo de absorção de luz pelos pigmentos fotossintéticos (clorofilas e carotenóides) das plantas;

400-520 nm (luz visível) - faixa em que ocorre o pico de absorção das clorofilas e tem forte influência no crescimento vegetativo e na fotossíntese, e está inserida a faixa do azul;

520-610 nm (luz visível) - está contida a faixa do verde, é menos absorvida pelas plantas e tem pouca influência no crescimento vegetativo e na fotossíntese;

610-720 nm (luz visível) - está contida a faixa do vermelho e tem grande influência no crescimento vegetativo, na fotossíntese, floração e brotação;

720-1000 nm (vermelho-distante/infravermelho) - a germinação e a floração são influenciadas por esse intervalo, mas pouca absorção ocorre nesta faixa.

> 1000 nm (infravermelho) - toda a absorção nesta região do espectro é convertida em calor.

Segundo Silva et al. (2014b), a qualidade e a intensidade da radiação exercem influência no crescimento vegetativo e na maturação da cana-de-açúcar, pois estabelecem relação direta com a síntese, translocação e acúmulo de carboidratos das folhas para o colmo. Ferreira Júnior et al. (2012), constataram tendência crescente das correlações entre as produtividades (de colmos e de açúcar) e a radiação fotossinteticamente ativa acumulada durante o ciclo. A variedade RB92579 foi a que apresentou maior rendimento de colmo e de açúcar. Segundo os autores, devido à sua maior capacidade de rebrotação e eficiência em conversão de RFA em fotoassimilados.

As mudanças na disponibilidade de radiação no ambiente de cultivo promovem ajustes no aparelho fotossintético dos vegetais, que resultam em maior eficiência na absorção e na transferência de energia para os processos fotossintéticos (MARTINS et al., 2010). O

espectro da radiação desempenha papel importante sobre células, crescimento do tecido vegetal e na biossíntese de metabólitos (FERREIRA et al. 2017).

4.5. Efeitos da radiação solar em plantas de metabolismo C4

As plantas C4 são assim chamadas por formarem como primeiro produto da fotossíntese o ácido oxalacético, composto por quatro carbonos, o qual é logo reduzido a ácido málico e a ácido aspártico, ambos com 4C, porém mais estáveis (KLUGE et al., 2015). As espécies com mecanismo fotossintético C4, em geral, são mais eficientes na fixação do carbono atmosférico do que as plantas C3, sobretudo, em condições de temperatura elevada e déficit hídrico. Embora as plantas C4 representem apenas 4% de toda flora mundial, elas contribuem com 20% na produção mundial de alimentos e energia (GUERRA et al., 2014). Se comparadas, as espécies com metabolismo C3, em geral, apresentam menor eficiência de conversão fotossintética do que as C4 (BERGAMASHI & BERGONCI, 2017).

As plantas C4 dispõem maior quantidade de energia nesse processo, pois são necessários dois ATPs a mais para a fosforilação do piruvato, que é o aceptor primário de CO₂. As plantas com metabolismo C4 não apresentam fotossaturação, pois têm um mecanismo de concentração de CO₂ nas células da bainha dos feixes vasculares. Esse mecanismo oferece à RUBISCO um ambiente rico em gás carbônico, com concentrações 10 a 20 vezes maiores do que na célula do mesófilo (BERGAMASHI & BERGONCI, 2017).

Maiores taxas fotossintéticas e um aumento na condutância estomática foram observadas em folhas de trigo, sob iluminação composta pela combinação de luz vermelha e azul (GOINS et al. 1997). Almeida et al. (2002), avaliaram os efeitos da qualidade da luz, por meio da suplementação com luz vermelha e vermelha extrema, na emissão de afixos em cultivares de trigo, e constataram que as repostas à suplementação podem ser determinadas pelo crescimento da planta, e diferenciadas para cada cultivar, como também a interação entre a qualidade de luz e os fatores fisiológicos e bioquímicos das cultivares refletem o grau de sensibilidade aos efeitos da suplementação.

Para Moreira et al. (2005) os aspectos que visam aumentar a absorção de RFA incidente, como arquitetura da planta, espaçamento entre plantas, disposição das linhas de plantio, dentre outros, devem considerar também a eficiência com que essa radiação absorvida é convertida em fotoassimilados e direcionada para a produção de grãos.

Em pesquisa realizada em ambiente controlado com diferentes fontes de iluminação LED em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.), a luz vermelha favoreceu o aumento do teor total de clorofila (Chl a e Chl b) nas folhas. Em contraste, a adição de luz azul resultou em baixo teor de clorofila. A qualidade de luz afetou de forma significativa os índices de crescimento e fisiologia, em especial, nos estádios de espigamento e florescimento (DONG et al., 2014).

A cana-de-açúcar é uma planta de metabolismo C4, que tem um mecanismo de concentração de CO₂ nas células do mesófilo. O mecanismo de concentração de CO₂ nas células do mesófilo permite às plantas C4, contudo, fechar parcialmente os estômatos reduzindo a condutância estomática e a transpiração quando submetidas a elevadas concentrações de CO₂ (MARIN & NASSIF, 2013). Os efeitos da qualidade da luz sobre a taxa de assimilação de CO₂ em espécies C4, podem ser mais intensos, dada a complexidade anatômica e bioquímica da fotossíntese C4 (SUN et al., 2012).

4.6. Diodo emissor de luz e sua aplicação agrícola

O LED é um diodo emissor de luz que quando energizado emite luz visível que não é monocromática, e consiste em uma banda espectral relativamente estreita, produzida pelas interações energéticas dos elétrons. Porém, apresenta picos em determinadas cores do espectro que dependem dos materiais de fabricação e da dopagem. Essa característica mostra que os LEDs não possuem um Índice de Reprodução de Cores (IRC) muito elevado, o que pode prejudicar sua aplicação em alguns tipos específicos de ambientes (VALENTIM et al., 2010).

O LED foi desenvolvido pelo cientista russo Oleg Vladimirovich Losev em 1920, mas o primeiro LED a emitir ondas no comprimento da faixa do visível foi desenvolvido no início de 1960 (ZHELUDEV, 2007). Inicialmente possuía luz de cor vermelha e baixíssima intensidade, mas com o avanço tecnológico tem-se na atualidade LEDs nas mais diversas formas e cores, que funcionam em altas potências.

Com base no desenvolvimento tecnológico ocorrido nos anos 90, os LEDs passaram a ser utilizados comercialmente nas indústrias automobilísticas, nos centros cirúrgicos, nos projetos arquitetônicos, nas televisões, dentre outros (STEELE, 2007).

Os LEDs destacam-se das demais fontes de luz por possuírem alta eficiência no processo de geração de luz com baixa produção de calor, pelo longo período de vida útil,

pelo comprimento de onda específico, pela massa e pelo volume pequeno (YEH & CHUNG, 2009).

O uso de LEDs no cultivo de plantas foi sugerido por Bula et al. (1991) ao observarem que o crescimento de plantas de alface cultivadas sob LEDs vermelhos, suplementados com lâmpadas fluorescentes azuis, era equivalente ao de fluorescentes brancas. No período do estudo, os LEDs azuis emitiam baixos níveis de fótons e possuíam alto valor, então as lâmpadas fluorescente azuis eram usadas como uma alternativa. O mesmo grupo de pesquisadores, em outro teste, demonstrou que mudas de alface apresentaram hipocótilos e cotilédones alongados quando cultivados sob LEDs vermelhos, como única fonte de iluminação, mas esses efeitos foram evitados quando a iluminação foi suplementada com lâmpadas fluorescentes azuis de $15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (HOENECKE et al., 1992).

Devido ao alto custo dos sistemas de iluminação a base de LED, a sua aplicação inicial no crescimento de culturas foi restrita a pesquisas em ambientes controlados como câmaras de crescimento e ambientes protegidos. Grande parte dos estudos iniciais que buscavam a produção de plantas sob LEDs foram conduzidos por pesquisadores afiliados à NASA, como preparação para o desenvolvimento de sistemas de suporte de vida baseados no cultivo de plantas para futuras bases na Lua e em Marte. O grupo de pesquisa do Kennedy Space Center (KSC) investigou o efeito de sistemas de luz à base de LED sobre o rendimento e as respostas fisiológicas de várias plantas de cultivo (MORROW, 2008).

Yorio et al. (2001) constataram que a acumulação total de peso seco foi significativamente menor para todas as espécies cultivadas apenas sob LEDs vermelhos, quando comparadas com as cultivadas sob lâmpadas fluorescentes branca ou LEDs vermelhos + 10% de luz azul (lâmpada fluorescente azul). Além disso, o peso seco total para rabanete e espinafre foi significativamente menor sob LEDs vermelhos + 10% fluorescente azul do que sob fluorescente branca, sugerindo que a adição de luz azul aos LEDs vermelhos ainda era insuficiente para alcançar o crescimento máximo dessas culturas. No estudo, todas as plantas foram mantidas com fluxo de fótons fotossintéticos próximo de $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Os sistemas de iluminação por LED possuem várias vantagens sobre as lâmpadas utilizadas na horticultura (MORROW, 2008), uma delas consiste na capacidade de controlar a saída espectral do sistema de iluminação, algo que não é fácil de se obter com fontes de amplo espectro. Embora a maioria dos trabalhos com LED refiram-se às culturas

alimentares, é provável que as respostas observadas beneficiem outras culturas. Os estudos podem ajudar a orientar e selecionar tipos e formas de utilização dos LEDs para inúmeros propósitos, a depender das respostas desejadas (MASSA et al., 2008). O rápido progresso tecnológico dos LEDs, devido a sua ampla utilização em outras aplicações industriais, proporcionou vários avanços na iluminação hortícola (OLLE & VIRŠILE 2013).

Poudel et al. (2008) concluíram que diodos emissores de luz vermelha proporcionaram maior porcentagem de enraizamento e maior quantidade de raiz em genótipos de uva cultivados *in vitro*.

A iluminação suplementar pode ser utilizada estrategicamente para aumentar o valor nutricional e o crescimento de plantas de alface. Estas, quando cultivadas sob luzes LED RBW (red, blue, white), apresentaram teores de açúcar solúvel e de nitrato significativamente maiores e menores, respectivamente, em comparação com plantas cultivadas com LED RB (LIN et al., 2013).

Em estudo mais recente, plantas de alface (*Lactuca sativa* L. cv. Frillice) cultivadas sob LEDs apresentaram maior crescimento e absorção de nutrientes quando comparadas com as cultivadas sob lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão convencionais (HPS), o que ressalta a influência da qualidade do espectro de luz do LED no crescimento e absorção de macro e micro nutrientes (PINHO et al. 2016).

Ao avaliar o controle do florescimento de crisântemo em ambiente protegido, Garde (2013) concluiu que a utilização do LED no controle do florescimento de crisântemo é promissora, e que devido a sua especificidade de ação, alta durabilidade e baixo consumo de energia elétrica torna-se mais eficiente que os tradicionais dispositivos de iluminação.

De acordo com Maluta et al. (2013) pouco se sabe sobre a resposta da cana-de-açúcar exposta a diferentes fontes luminosas. Portanto, é importante avaliar os efeitos de possíveis combinações de LED, no porte das mudas, no número de brotações e em possíveis alterações morfológicas. Os autores avaliaram o efeito de diferentes comprimentos de onda no desenvolvimento *in vitro* de mudas de cana-de-açúcar. Explantes foram submetidos a quatro tratamentos de diodos emissores de luz (LED): 100% azul; 70% azul + 30% vermelha; 30% azul + 70% vermelha; 100% vermelha, além do controle com lâmpada fluorescente branca e, constataram que o controle e o tratamento com 100% vermelho apresentaram maior massa de matéria fresca do que os tratamentos

com LED azuis, já o uso de LED vermelho reduziu o porte das mudas, o que implica na maior produtividade no sistema *in vitro*.

Ao avaliar o efeito da iluminação LED sobre o crescimento e morfogênese de plântulas de cana-de-açúcar *in vitro*, observou-se que as plântulas expostas à iluminação LED com maior intensidade de luz azul apresentaram maior peso fresco, maior número de perfilhos e taxa de multiplicação de 1:5 (SILVA et al., 2014b).

Ferreira et al. (2017) avaliaram o uso de LEDs na indução da embriogênese somática, na micropropagação e como este se reflete na aclimatização da cana-de-açúcar (RB98710). Os cultivos permaneceram sob lâmpadas fluorescentes ou LEDs (82% vermelha, 18% azul). Segundo os autores, as plantas de cana-de-açúcar da variedade RB98710 apresentaram melhor taxa de multiplicação e desenvolvimento *in vitro* e *ex vitro* quando cultivadas sob LEDs.

4.7. Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) é uma das ferramentas mais importantes da análise multivariada, por constituir a base fundamental da maioria dos outros métodos multivariados de análise de dados. Como ferramenta de análise exploratória, a ACP permite a identificação ou não de amostras anômalas, de relações entre as variáveis medidas e de relações ou agrupamentos entre amostras (LYRA et al., 2010). A ACP é um método que permite a redução da dimensionalidade por meio da representação do conjunto de dados em um novo sistema de eixos, denominados componentes principais (CP), o que permite a visualização da natureza multivariada dos dados em poucas dimensões (SOUZA & POPPI, 2012).

De acordo com Lyra et al. (2010), a análise de componentes principais consiste em realizar uma mudança da base do espaço vetorial do conjunto de dados. Cada objeto que é representado num espaço N dimensional definido pelas N variáveis, passa a ser representado por N componentes principais.

A análise multivariada pode ser utilizada na seleção de genótipos superiores para caracteres agrônômicos, pois são úteis para unificar as informações do conjunto total de caracteres, o que permite uma seleção mais rigorosa e a obtenção de genótipos específicos para os caracteres de interesse. Neste contexto, Leite et al. (2016) utilizaram a análise multivariada na seleção de genótipos de soja com bom desempenho de caracteres, afim

de identificar as características mais influentes sobre a produtividade de grãos e sobre o processo de seleção.

O uso das técnicas de análises multivariadas é eficiente para verificar similaridades ou diferenças, com base nos atributos físicos do solo em função da classe textural, em diferentes áreas estudadas, sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (FREITAS et al., 2014). Em estudo realizado para identificar, por meio de análises multivariadas, os atributos do solo que evidenciam a variabilidade espacial da cultura do feijão, Silva et al. (2015) constataram que as técnicas facilitaram a compreensão da variabilidade físico-química do solo. Foi verificado que entre os atributos do solo avaliados, aqueles que melhor explicam a variabilidade espacial na produção da cultura do feijão, para a área do estudo, são os físicos, onde os atributos densidade do solo, porosidade total, umidade gravimétrica e umidade volumétrica, que compuseram o componente principal 1 explicou 38,6 % da variabilidade.

Segundo Santi et al. (2012) a análise dos componentes principais dos atributos químicos e físicos do solo é uma técnica eficiente para explicar a variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas de grãos.

Leoni et al. (2017), utilizaram a análise de componentes principais para correlacionar variáveis mensuradas por uma estação automática de monitoramento da qualidade do ar e, desta forma, tentar compreender a inter-relação das variáveis, em uma sinergia entre a química da atmosfera e as ferramentas estatísticas.

A compreensão dos resultados de um experimento engloba a análise de grande número de variáveis. Muitas vezes, um pequeno número destas variáveis contém as informações relevantes, enquanto que a maioria das variáveis adiciona pouco ou nada à interpretação dos resultados em termos práticos (LEONI et al., 2017).

5. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n.5, p.1441-144, 2008.

ALMEIDA, M. L. D.; SANGOI, L.; TRENTIN, P. S.; GÁLIO, J. Cultivares de trigo respondem diferentemente à qualidade da luz quanto à emissão de afilhos e acumulação de massa seca. *Ciência Rural*, v. 32, n. 3, p. 377-383, 2002.

ANGELOCCI, L. R. Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: R.L. Angelocci, 2002. 268 p.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; MAESTRELO, P. R. Produtividade e desenvolvimento da cana-planta e soca em função de doses e fontes de manganês. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p.1661-1668, 2011.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. As plantas e o clima: princípios e aplicações. Guaíba: Agrolivros, 2017. 352 p.

BEZERRA, F C. Produção de mudas de hortaliças em ambiente protegido. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 22 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 72).

BRAGA, F. T.; PASQUAL, M.; CASTRO, E. M.; RAFAEL, G. C.; FAVERO, A. C.; VALENTE, T. C. T. Alterações morfofisiológicas de plantas de abacaxizeiro influenciadas por diferentes substratos durante o processo de aclimatização. *Ciência Agrotecnologia*, v. 35, p. 863-868, 2011.

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*, v. 26, n. 2, p. 203-205, 1991.

CARDOZO, N. P.; SENTELHAS, P. C. Efeitos climáticos na maturação da cana-de-açúcar sob influência de cultivares e idade da cultura. *Scientia Agricola*, v. 70, n. 6, p. 449-456, 2013.

CAPUTO, M. M.; BEAUCLAIR, E. G. F.; SILVA, M. D. A.; PIEDADE, S. M. D. S. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. *Bragantia*, v. 67, p. 15-23, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar, safra 2014/2015. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_19_09_02_49_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_2014-15.pdf> Acesso em: 03/02/2015.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar, v. 2, safra 2017/2018, n. 4. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_08_09_08_38_cana_deze mbro_novo.pdf> Acesso em: 12/01/2018.

DARKO, E.; HEYDARIZADEH, P.; SCHOEFS, B.; SABZALIAN, M. R. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 369, 2014.

DEMOTES-MAINARD, S.; PÉRON, T.; COROT, A.; BERTHELOOT, J.; LE GOURRIEREC, J.; PELLESCI-TRAVIER, S.; VIAN, A. Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, v. 121, p. 4-21, 2016.

DONG, C., FU, Y., LIU, G., LIU, H. Growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity and biomass yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) exposed to LED light sources with different spectra combinations. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 200, n. 3, p. 219-230. 2014.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. D.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; SANTOS, M. A. D.; PORFIRIO, A. Growth and photosynthesis of sugarcane based on biometric and meteorological variables. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p.1229-1236, 2012.

FERREIRA, L. T.; ARAÚJO SILVA, M. M.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. Using LED lighting in somatic embryogenesis and micropropagation of an elite sugarcane variety and its effect on redox metabolism during acclimatization. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, v. 128, n. 1, p. 211-221, 2017.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. *Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 57, n. 3, p. 224-233. 2014.

GARDE, G. P. Suplementação de luz intermitente emitida por LED sobre as características fitotécnicas e anatômicas de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). 2013. 40 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

GÍRIO, L. A. S. Eficiência agrônômica de bactérias diazotróficas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). 2014. 60 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

GOINS, G. D.; YORIO, N. C.; SANWO, M. M.; BROWN, C. S. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *Journal of Experimental Botany*, v. 48, n. 7, p. 1407-1413, 1997.

GOMES-FILHO E.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T. Avanços no conhecimento sobre a tolerância e a aclimação de plantas à salinidade. *INOVAGRI Book - Irrigation and Salinity: Researches and Technological Innovations*, p. 61-79, 2014.

GUERRA, A.; BARBOSA, A. D. M.; GUIDORIZZI, K. A.; SOUZA, G. M. Efeitos da temperatura do ar na fotossíntese da cana-de-açúcar na fase inicial do desenvolvimento. *Revista Agrarian*, v. 7, p.211-217, 2014.

GUISELINI, C.; SENTELHAS, P. C.; PANDORFI, H.; HOLCMAN, E. Manejo da cobertura de ambientes protegidos: Radiação solar e seus efeitos na produção da gérbera. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p.645-652, 2010.

HOENECKE, M. E., BULA, R. J., & TIBBITTS, T. W. Importance of Blue'Photon Levels for Lettuce Seedlings Grown under Red-light-emitting Diodes. *HortScience*, v. 27, n. 5, p. 427-430. 1992.

JADOSKI, C. J; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O. RODRIGUES, J. D. Fisiologia do desenvolvimento de estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia*, v. 3, p.169-186. 2010.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; RODRIGUES, J. D. Desenvolvimento morfofisiológicos de raízes e brotos da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* L.). *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 11, n. 2, p 22-32, 2012.

KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; SILVA, P. P. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. *Revista Virtual de Química*, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, 2007.

LANDELL, M. G; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIÃO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL P. E. M. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Ribeirão Preto: Instituto Agrônômico de Campinas, 2012. 17p. (Documentos IAC, 109).

LEITE, W. D. S.; PAVAN, B. E.; ALCÂNTARA NETO, F.; MATOS FILHO, C. H. A.; FEITOSA, F. S.; OLIVEIRA, C. B. Multivariate exploratory approach and influence of six agronomic traits on soybean genotypes selection. *Nativa*, v. 4, n. 4, p. 206-210, 2016.

LEONI, R. C.; SAMPAIO, N. A. D. S.; CORRÊA, S. M. Estatística multivariada aplicada ao estudo da qualidade do ar. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, p. 235-241, 2017.

LIN, K. H.; HUANG, M. Y.; HUANG, W. D.; HSU, M. H.; YANG, Z. W.; YANG, C. M. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, v. 150, p. 86-91, 2013.

LYRA, W. D. S.; SILVA, E. C. D.; ARAÚJO, M. C. U. D.; FRAGOSO, W. D.; VERAS, G. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. *Química Nova*, v. 33, n. 7, p. 1594-1597, 2010.

MALUTA, F. A.; BORDIGNON, S. R. ROSSI, M. L. AMBROSANO, M. B.; RODRIGUES, P. H. V. Cultivo in vitro de cana-de-açúcar exposta a diferentes fontes de luz *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 48, p. 1303-1307, 2013.

MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J. Agrometeorologia da cana-de-açúcar. In: INMET. (Org.). Agrometeorologia dos cultivos - Levantamento Sistemático de Informações Agrometeorológicas e Fitotécnicas. INMET, v. 1, p.109-130. 2009.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 2, 2013.

MARIN, F. R., MARTHA, G. B., CASSMAN, K. G., & GRASSINI, P. Prospects for increasing sugarcane and bioethanol production on existing crop area in Brazil. *BioScience*, v. 66, n. 4, p. 307-316. 2016.

MARTINS, J. R.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; SILVA, A. P. O.; ALVES, E. Teores de pigmentos fotossintéticos e estrutura de cloroplastos de Alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. *Ciência Rural*, v. 40, n. 1, p. 64-69, 2010.

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.

MELO, G. M.; BARBOSA, M. R.; DIAS A. L. F.; WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Pré-condicionamento in vitro de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para tolerância ao estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 27-33, 2014.

MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; FELÍCIO, J. C.; FREITAS, J. G.; TARGA, M. S. Variação espectral e eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa em ensaio com genótipos de trigo. *Bragantia*, v. 64, n. 3, p. 331-338, 2005.

MORGADO, I. F.; CARNEIRO, J.; LELES, P.; BARROSO, G. Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, v. 57, n. 4, p.709-712, 2000.

MORROW, R. C. LED lighting in horticulture. *HortScience*, v. 43, n.7, p. 1947-1950, 2008.

OLIVEIRA FILHO, F. X.; MIRANDA, N. D. O.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, P. C.; MESQUITA, F. O.; COSTA, T. K. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, p.186-193, 2015.

OLLE, M.; VIRŠILE, A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, v.22, n.2, p.223-234, 2013.

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos

tabuleiros costeiros de Alagoas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p.403-415, 2011.

POUDEL, P. R.; KATAOKA, I.; MOCHIOKA, R. Effect of red-and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant cell, tissue and organ culture*, v. 92, n. 2, p. 147-153, 2008.

PILAU, F. G.; ANGELOCCI, L. R. Área foliar e interceptação de radiação solar pela copa de uma laranjeira. *Bragantia*, v. 74, n. 4, 2015.

PINHO, P.; JOKINEN, K.; HALONEN, L. The influence of the LED light spectrum on the growth and nutrient uptake of hydroponically grown lettuce. *Lighting Research & Technology*, p. 1-16, 2016.

PREECE, J. E.; SUTTER, E. G. Acclimatization of micropropagated plants to the greenhouse and field. In: *Micropropagation*, Springer, p. 17-93, 1991.

REBOUÇAS, P. M.; DIAS, I. F.; ALVES, M. A.; BARBOSA FILHO, J. A. D. Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. *Revista Agrogeoambiental*, v. 7, n. 2, p. 115-125, 2015.

REIS, L. S.; SOUZA, J. L.; AZEVEDO, C. A. V.; LYRA G. B.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; LIMA, V. L. A. Componentes da radiação solar em cultivo de tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 7, p. 739-744, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 9, p. 1346-1357. 2012.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E; NÓBREGA, J. C. M. *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: CP 2, 2006. p.19-36.

SILVA, E. N. S.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A. R.; RODRIGUES CORREA, A.; TOMAZ, P. K.; FERRAUDO, A. S. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 2, p. 598-507, 2015.

SILVA, M. D. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. D. L.; GAVA, G. J.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.3, p.241–249, 2014(a).

SILVA, M. M.; OLIVEIRA, A. L.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; GOUVEIA NETO, A. S.; CAMARA, T. J.; WILLADINO, L. G. Effect of blue/red LED light combination on growth and morphogenesis of *saccharum officinarum* plantlets in vitro. In SPIE BiOS, International Society for Optics and Photonics, v. 89471, 2014(b).

SINGH, D.; BASU, C.; MEINHARDT-WOLLWEBER, M.; ROTH, B. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 49, p.139-147, 2015.

SOUZA, A. M. D.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, parte I. *Química Nova*, v. 35, n. 1, p. 223-229, 2012.

STEELE, R.V. The story of a new light source. *Nature*, London, v. 1, p.25-26, 2007.

SUN, W. E. I.; UBIERNA, N.; MA, J. Y.; COUSINS, A. B. The influence of light quality on C4 photosynthesis under steady-state conditions in *Zea mays* and *Miscanthus x giganteus*: changes in rates of photosynthesis but not the efficiency of the CO₂ concentrating mechanism. *Plant, Cell & Environment*, v. 35, n.5, p. 982-993. 2012.

YEH, N.; CHUNG, J.P. High-brightness LEDs - Energy efficient lighting sources and their potential in door plant cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, p.1- 6, 2009.

YORIO, N. C.; GOINS, G. D.; KAGIE, H. R.; WHEELER, R. M.; SAGER, J. C. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, v. 36, n. 2, p. 380-383. 2001.

VALENTIM, A. A.; FERREIRA, H. S.; COLETTI, M. A. Lâmpadas de led: impacto no consumo e fator de potência. *Revista Ciências do Ambiente*, v. 6, p.29-33. 2010.

ZHELUDEV, N. The life and times of the LED—a 100-year history. *Nature Photonics*, v. 1, p.189-192, 2007.

CAPÍTULO II

BIOFOTÔNICA: ACLIMATAÇÃO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA- DE-AÇÚCAR EM AMBIENTE PROTEGIDO

BIOFOTÔNICA: ACLIMATAÇÃO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM AMBIENTE PROTEGIDO

RESUMO

A cana-de-açúcar é considerada uma das principais alternativas para produção de biocombustíveis e um importante produto da agricultura brasileira, sendo indispensável a adoção de novas técnicas de cultivo e manejo da cultura. Dessa forma, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito da qualidade da iluminação suplementar, a base de diodo emissor de luz (LED), na aclimatação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em ambiente protegido. O experimento foi realizado em ambiente protegido localizado na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), coberto com filme de polietileno de baixa densidade de 150 μm , anti-UV. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, composto por três sistemas de iluminação suplementar de LEDs, em que a proporção de luz foi de 90% vermelha + 10% azul (V:A 90/10), 80% vermelha + 20% azul (V:A 80/20), 70% vermelha + 30% azul (V:A 70/30) e, controle, com radiação solar natural, com 5 repetições. Para caracterização micrometeorológica no interior do ambiente protegido e no ambiente externo, foram instalados sensores conectados a uma plataforma automática de registro de dados; temperatura do ar (T_a , $^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (Q_g , $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e W m^{-2}) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e W m^{-2}). O espectro da radiação solar no interior do ambiente protegido foi obtido por meio de um espectrômetro. A avaliação do crescimento das mudas foi realizada por meio de indicadores biométricos: altura da planta (AP, cm); comprimento do colmo (CC, cm); diâmetro do colmo (DC, cm); número de folhas (NF); largura e comprimento da folha (LF e CF, cm), comprimento da raiz (CR, cm), área foliar (AF, cm^2), volume de raiz (VR, mm^3), massa seca da parte aérea (MSPA, g) e da raiz (MSR, g). Foram determinados os teores de carboidratos solúveis totais e sacarose. Foi utilizada a análise multivariada de componentes principais baseada na matriz de correlação entre todas as variáveis. Verificou-se que os diferentes sistemas de iluminação por LED promoveram acréscimo na RFA, no entanto, até os 20 dias após o plantio as mudas sofreram pouca influência dos sistemas de iluminação suplementar. Ao fim do período de aclimatação o sistema de iluminação V:A 80/20 apresentou maior associação com o crescimento e porte das mudas de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: componentes principais, diodo emissor de luz, iluminação suplementar, radiação solar

BIOPHOTONICS: ACCLIMATION OF PRE-SPROUTED SUGARCANE SEEDLINGS IN GREENHOUSE

ABSTRACT

Sugarcane is considered one of the main alternatives for biofuel production and an important product of Brazilian agriculture, thus the adoption of new techniques of cultivation and crop management is essential. Therefore, the aim of this research was to evaluate the effect of supplementary lighting quality based on light-emitting diode (LED) in the acclimation of pre-sprouted seedlings of sugarcane in a greenhouse. The experiment was carried out in a greenhouse located in the experimental area of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), covered with a film of polyethylene of low density of 150 μm , anti-UV. The experimental design was completely randomized, comprising three supplementary lighting LED systems, in which the proportion of light was 90% Red + 10% Blue (R:B 90/10), 80% Red + 20% Blue (R:B 80/20), 70% Red + 30% Blue (V:70/30), and control, with natural solar radiation, with 5 replicates. In order to perform micrometeorological characterization inside and outside of the greenhouse, it was installed sensors connected to a data logging automatic platform, which collected data of air temperature (T_a , $^{\circ}\text{C}$), relative humidity (UR, %), global solar radiation (R_g , $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ and W m^{-2}), and photosynthetically active radiation (RFA, $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ and W m^{-2}). The spectrum of solar radiation inside the greenhouse was obtained through a spectrometer. The following biometric indicators were used to evaluate seedling growth: plant height (AP, cm); stem length (CC, cm); stem diameter (DC, cm); leaf number (NF); leaf width and length (LF and CF, cm), root length (CR, cm), leaf area (AF, cm^2), root volume (VR, mm^3), shoot dry mass (MSPA, g) and root dry mass (MSR, g). In addition, total soluble carbohydrates and sucrose levels were measured. Data was subjected to multivariate analysis of main components based on correlation matrix between all variables. It was verified that the different lighting LED systems promoted an increase in the PAR; however, there was little influence of the different systems on plants before 20 days after planting. At the end of the period of acclimation the lighting system R:B 80/20 showed a greater association with the growth and size of seedlings of sugarcane.

Keywords: principal components, light-emitting diode, supplementary lighting, solar radiation

1. Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum* sp. L.) é um importante produto da agricultura brasileira, e considerada uma das principais alternativas para a produção de biocombustíveis. A produção de cana-de-açúcar, estimada para a safra 2017/18, é de 635,6 milhões de toneladas. Redução de 3,3% em relação à safra anterior. O cultivo de cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil é realizado desde o período colonial, o qual se concentra, em especial, na região litorânea e agreste dos estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba. (CONAB, 2017; OLIVEIRA et al., 2016).

Para que o setor sucroenergético possa atender a demanda mundial crescente por açúcar e biocombustíveis, de forma satisfatória, precisa aumentar a produtividade e sua eficiência. Para isso, torna-se necessário a adoção de novos sistemas e tecnologias de produção, que possam contribuir para um ganho de rendimento por área cultivada. Dentre as novas técnicas, a produção de mudas pré-brotadas (MPB) surgiu como opção para formação de viveiros, como também, replantio, renovação e expansão de áreas de cana-de-açúcar (GAZOLA et al., 2017; MARIN et al., 2016).

Uma das etapas de maior importância no sistema MPB consiste na fase de brotação e aclimação, onde as mudas permanecem de ambiente protegido, com o objetivo de minimizar os efeitos adversos dos elementos meteorológicos. Nessa etapa é possível obter mudas mais resistentes e de alto padrão de qualidade por meio do manejo das variáveis ambientais.

A biofotônica é um campo interdisciplinar que envolve a interação entre radiações eletromagnéticas e materiais biológicos, portanto, refere-se a emissão, detecção, absorção, reflexão e a influência dos fótons nas células, tecidos e organismos de interesse agrícola. A utilização da iluminação artificial por diodos emissores de luz (LED), com o objetivo de aumentar a capacidade de produção dos cultivos em ambientes controlados, tem sido considerada, dentre as tecnologias recentes, uma das quais apresenta um grande potencial para otimizar o crescimento das plantas e tornar os sistemas mais eficientes e sustentáveis (DARKO et al., 2014).

Os LEDs podem ser utilizados como fonte de luz na produção em ambientes controlados e como iluminação suplementar em ambientes protegidos, embora essas

aplicações estejam em estágios iniciais de desenvolvimento (MORROW, 2008). No entanto, são poucos os estudos a respeito dos efeitos do manejo da iluminação na cultura da cana-de-açúcar, sobretudo, na produção de mudas em ambiente protegido.

Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito da qualidade da iluminação suplementar, a base de diodo emissor de luz (LED), na aclimatação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em ambiente protegido.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado em ambiente protegido localizado na área experimental do Departamento de Agronomia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município do Recife, situado na Zona da Mata do estado de Pernambuco, latitude $8^{\circ} 04'03''$ S; longitude $34^{\circ} 55'00''$ O; e altitude de 4 m (Figura 1). O experimento foi realizado no período de dezembro de 2016 a janeiro de 2017.



Figura 1. Localização da unidade experimental

O clima da região é caracterizado como megatérmico Am' , tropical quente e úmido, com precipitação de inverno e estação seca do verão até o outono, segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual no Recife é de $25,5^{\circ}C$. As temperaturas mais elevadas na região são em janeiro, com média de $27^{\circ}C$, e julho o mês que apresenta a temperatura média mais baixa, média de $24^{\circ}C$. O ambiente protegido apresenta dimensões de 7,0 m de largura, 21,0 m de comprimento, 3,0 m de pé direito e

4,5 m de altura, coberto com filme de polietileno de baixa densidade de 150 μm , anti-UV, e fechamento lateral com malha de sombreamento.

A variedade da cana-de-açúcar utilizada foi a RB 92579, uma das três variedades mais cultivadas no Brasil, que tem como principais características excelente produtividade agrícola, ótima brotação das socarias, boa resposta à irrigação e eficiência no uso da água (RIDESA, 2010)

A produção e o manejo das mudas pré-brotadas foram realizados conforme a metodologia do Instituto Agrônômico (IAC) (Landell et al., 2012), adaptado de acordo com as condições e recursos disponíveis para realização do experimento.

Para a produção de mudas pré-brotadas (MPB), foram utilizados colmos provenientes de viveiros, com idade fisiológica de 6 a 10 meses, o que permitiu maior aproveitamento das gemas ao longo do colmo. Foi realizada a seleção das gemas sadias, e eliminou-se do processo os minirrebolos com sintomas de pragas, doenças e eventuais danos mecânicos nas gemas.

Os minirrebolos (± 3 cm) foram distribuídos em bandejas (Figura 2), cobertos com substrato (fibra de coco) e mantidos em ambiente protegido.

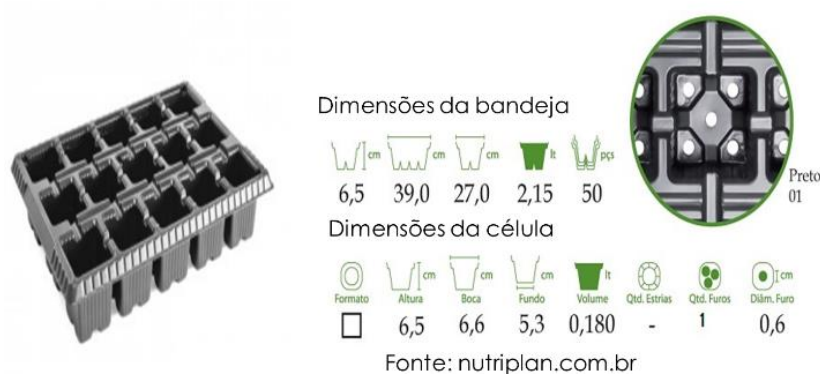


Figura 2. Dimensões da bandeja utilizadas para a produção de mudas

Após o período de pré-brotação, a necessidade hídrica e nutricional das mudas foi suprida por fertirrigação (Tabela 1), por meio de um sistema de subirrigação, em bancada de alvenaria com dimensões de 5,0 m de comprimento por 1,6 m de largura, 1,20 m de altura do nível do solo (cota superior), 0,80 m de altura do nível do solo (cota inferior) com inclinação de 7,2% e bordas de 3 cm. Em que, o substrato contido nas bandejas absorveu a solução nutritiva por capilaridade. A irrigação foi diária, de forma automática por meio de uma bomba d'água conectada a um timer programado para acioná-la por 15 min.

Tabela 1. Concentrações de sais e fertilizantes para o preparo de solução nutritiva

| Fertilizante/Sal | g 200 L ⁻¹ |
|-------------------------|-----------------------|
| Nitrato de cálcio | 117 |
| Nitrato de potássio | 110 |
| MKP | 44 |
| Sulfato de magnésio | 90 |
| Quelatec [®] | 5 |
| Ultraferro [®] | 5 |

Durante o período de aclimação foi realizada uma poda da parte aérea (25 DAP) com o objetivo de estimular o crescimento radicular das mudas, como descrito por (LANDELL et al., 2012).

O sistema de iluminação suplementar foi constituído por barras LED RGB modelo SYM-MT24RGB-S-BAR-24-0,52M, nas cores vermelho (640 nm) e azul (470 nm) (Figura 3A), instaladas 0,5 m acima das bancadas com as bandejas, em estrutura de arames (Figura 3B). Com intensidade do fluxo luminoso ajustado para 500 lux, onde permaneceram ligadas por 16 h (12 h de radiação solar natural + 4 h de iluminação suplementar).

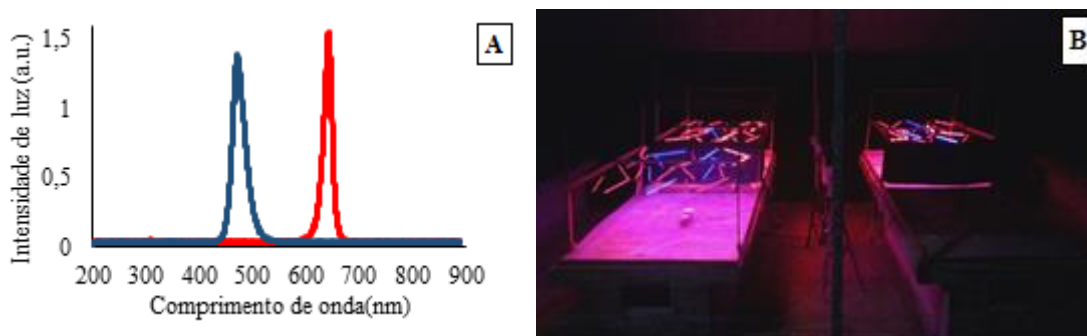


Figura 3. Distribuição espectral do sistema de iluminação nas cores vermelho e azul (A). Vista das bancadas de cultivo com os sistemas de iluminação suplementar de LED instalados (B)

Para caracterização micrometeorológica no interior do ambiente protegido e no ambiente externo, foram instalados sensores conectados a uma plataforma automática de registro de dados; temperatura do ar (T_a , °C), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (Q_g , MJ m⁻² dia⁻¹ e W m⁻²) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA, MJ m⁻² dia⁻¹ e W m⁻²).

$^2 \text{ dia}^{-1}$ e W m^{-2}) instalados a 1,50 m de altura do piso, que registraram os dados a cada segundo e armazenaram as médias das leituras a cada 15 min, assim como médias diárias e valores máximos e mínimos.

O espectro da radiação solar no interior do ambiente protegido foi obtido por meio do espectrômetro conectado a um computador portátil com o auxílio do software Ocean Optics SpectraSuite.

A avaliação do crescimento das mudas foi realizada, levando-se em consideração as variáveis biométricas das plantas: altura da planta (AP, cm); comprimento do colmo (CC, cm); diâmetro do colmo (DC, cm); número de folhas (NF); largura e comprimento da folha (LF e CF, cm); e comprimento da raiz (CR, cm).

A área foliar (AF) foi determinada por meio da Eq. (1):

$$AF = C \times L \times 0,75 (N + 2) \quad (1)$$

em que:

C - comprimento da folha (cm)

L - largura da folha (cm)

N - número de folhas

O volume de raiz (VR, mm^3) foi obtido, ao final do período de aclimação, pelo deslocamento de volume de água em proveta graduada. O sistema radicular e a parte aérea foram colocados em estufa a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h, em seguida foi realizada a pesagem do material para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA, g) e da raiz (MSR, g).

O teor de carboidratos solúveis totais e sacarose foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Bezerra Neto & Barreto (2011), em que foi obtida uma curva por solução padrão de glucose, para o teor de carboidratos solúveis totais e, outra curva por solução padrão de sacarose, para o teor de sacarose, nas respectivas concentrações de 25, 50, 100, e 200 mg L^{-1} .

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, composto por três sistemas de iluminação suplementar, em que a proporção de luz foi de 90% vermelha + 10% azul (V:A 90/10), 80% vermelha + 20% azul (V:A 80/20), 70% vermelha + 30% azul (V:A 70/30) e, controle, com radiação solar natural, com 5 repetições, cada repetição composta por 5 bandejas de 15 células, no total de 75 mudas, conforme ilustrado na Figura 4.

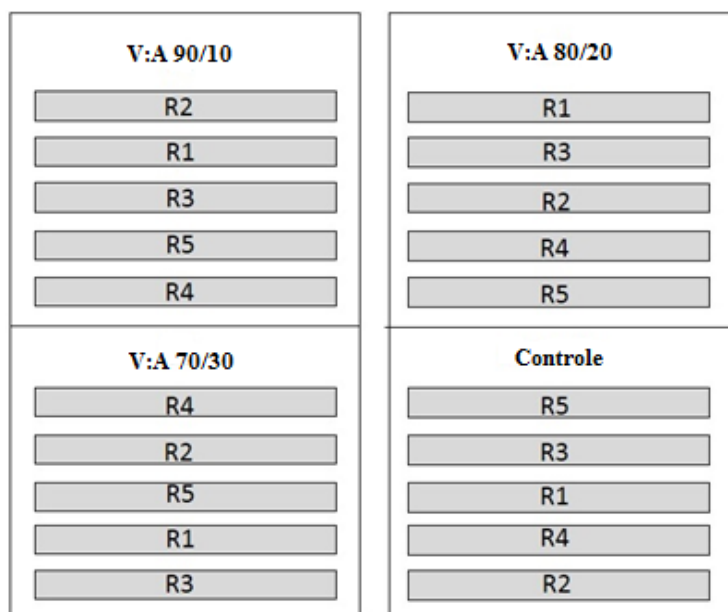


Figura 4. Representação esquemática do delineamento experimental

A análise dos dados meteorológicos registrados no ambiente externo e no interior do ambiente protegido foi realizada utilizando-se regressões lineares. As regressões foram submetidas ao Teste F para avaliar a sua significância.

Para análise da associação entre as variáveis biométricas, fisiológicas e meteorológicas, foi utilizada a análise multivariada de componentes principais, baseada na matriz de correlação entre todas as variáveis, por meio de programas computacionais especializados, assim como, as representações gráficas. Os dados submetidos a análise multivariada foram previamente estandardizados, uma vez que existe grande variação devido a ordem de grandeza das diversas variáveis.

3. Resultados e Discussão

A Figura 5 apresenta a variação diária da temperatura média do ar (Tar interno) obtida no ambiente protegido e no ambiente externo (Tar externo). Em todo período experimental a Tar interno foi superior à temperatura do ar observada a céu aberto.

A temperatura do ar média no interior do ambiente protegido foi de 29,78 °C, valor dentro da faixa (25-33°C) considerada favorável ao desenvolvimento vegetativo da cultura (ALMEIDA et al., 2008). Guerra et al. (2014), ao avaliarem o efeito da temperatura do ar sobre a fotossíntese na fase inicial de crescimento da cana-de-açúcar

em câmara climatizada, concluíram que a alta temperatura do ar (33 °C diurna e 27 °C noturna) não afetou a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar.

A diferença da temperatura do ar no interior do ambiente foi da ordem de 1,23 °C, em relação ao ambiente externo, o que é esperado devido a diminuição do processo convectivo causado pela cobertura do ambiente protegido, que impede a passagem do ar quente para o ambiente externo. Andrade Júnior et al. (2011), constataram um acréscimo de 2,3 °C na temperatura média do ar no interior ambiente protegido no mês de outubro. Guiselini et al. (2013) observaram, no município de Igarassu, PE, valor médio da temperatura do ar no interior do ambiente protegido de 0,44 °C acima da registrada no ambiente externo.

A temperatura do ar no interior do ambiente protegido na aclimação de mudas de cana-de-açúcar, está relacionada de forma direta com o crescimento e os processos fotossintéticos da plantas, além de permitir que as plantas recém brotadas desempenhem seu potencial sem que sofram algum tipo de estresse. Segundo Jadoski et al. (2012) a temperatura do ar interfere na velocidade das reações bioquímicas e na ação de enzimas envolvidas na divisão, na diferenciação e no crescimento celular.

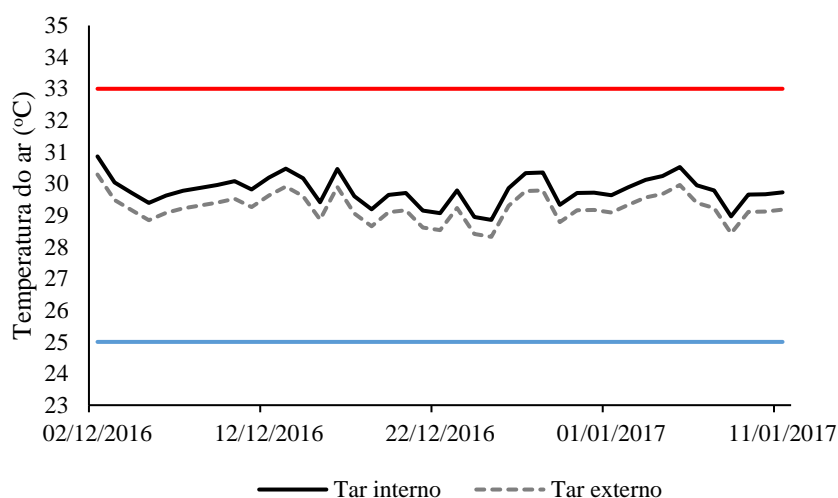


Figura 5. Variação diária da temperatura média do ar no interior do ambiente protegido e no ambiente externo ao longo do período experimental

A Figura 6 apresenta a variação diária da umidade relativa do ar (UR) média, máxima e mínima no ambiente interno e umidade relativa do ar no ambiente externo ao longo do período experimental. O valor da UR média no ambiente protegido foi inferior ao observado no ambiente externo, com valores da ordem de 69,03 e 70,71%, respectivamente. É possível encontrar na literatura, outros trabalhos nos quais foi

constatado que em ambientes protegidos a UR é inferior aos valores obtidos em condição externa. Andrade Júnior et al. (2011) verificaram que a UR no interior do ambiente protegido foi, em média, 3,2% inferior ao ambiente externo. Andrade et al. (2011) constataram variações da UR entre 46,7 e 82,4%, em ambiente protegido coberto com filme térmico difusor de luz; entre 47,2 e 82,6%, no abrigo com filme convencional de polietileno; e entre 41,0 e 81,8% em campo aberto.

Nota-se um pico na UR no dia 29/12, onde foram observados os maiores valores (79%) no ambiente protegido e no ambiente externo (78,75%), que pode-se atribuir à mínima amplitude térmica registrada no período, de 5,31 °C no ambiente protegido e 4,23 °C no ambiente externo. Na produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar o controle da umidade relativa do ar tem a função de minimizar o efeito das altas temperaturas do ar.

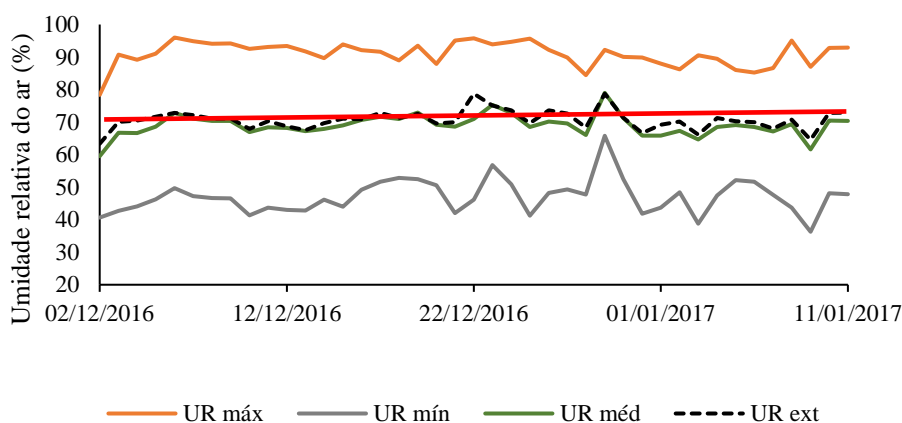


Figura 6. Variação diária da umidade relativa do ar, máxima, média e mínima no interior do ambiente protegido e no ambiente externo ao longo do período experimental

Observa-se na Figura 7, a variação da radiação solar global (R_g) registrada nas bancadas com iluminação suplementar por LED (V:A 70/30; V:A 90/10; V:A 80/20) e do controle, no interior do ambiente protegido e no ambiente externo, ao longo do período experimental. Durante todo o período, a radiação solar global observada no interior do ambiente protegido foi inferior à registrada no ambiente externo ($19,36 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Ferreira Júnior et al (2012), verificaram no estado de Alagoas, média diária da R_g incidente no cultivo, da ordem de $20,9 \text{ MJ m}^{-2}$ até os 70 dias após o corte da cana-de-açúcar. André et al (2010), ao estudarem o desenvolvimento da cana-de-açúcar ao longo do seu ciclo, observaram na fase de desenvolvimento dos colmos, radiação solar global de $20,36 \text{ MJ m}^{-2}$.

As diferenças entre os sistemas de iluminação suplementar V:A 70/30; V:A 90/10; V:A 80/20; e controle, em relação ao ambiente externo foram de 9,55, 9,79, 9,56, 10,17 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Essa redução ocorre em função da atenuação promovida pela reflexão e absorção da cobertura plástica. Ferrari & Leal (2015), obtiveram média de radiação solar global de 9,2 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, durante cultivo em ambiente protegido coberto por polietileno de baixa densidade (PEBD) associado a tela termorrefletores, no município de Rio das Pedras-SP. Reis et al. (2013), verificaram em ambiente protegido, com cobertura de polietileno de 120 μm , radiação solar global de 10,78 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Comparando-se os valores médios da Rg dos sistemas de iluminação V:A 70/30, V:A 90/10, V:A 80/20, com o controle, nota-se que os valores foram muito semelhantes, no entanto, não contribuíram para o aumento da Rg no interior do ambiente protegido. As diferenças em relação ao controle foram de 0,62, 0,38, 0,60 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

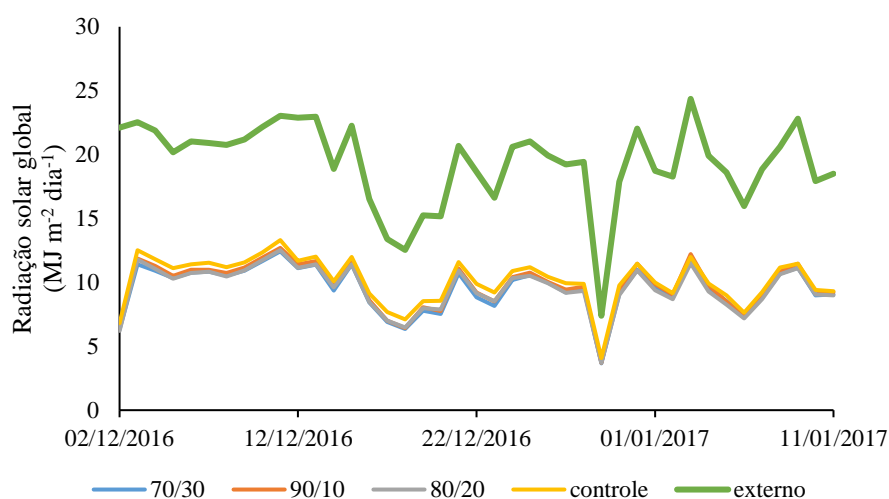


Figura 7. Variação da radiação solar global dos tratamentos estudados no interior do ambiente protegido e no ambiente externo ao longo do período experimental

Observa-se na Figura 8 a relação entre a radiação solar global diária nos diferentes sistemas de iluminação (V:A 70/30; V:A 90/10; V:A 80/20; e controle) e o ambiente externo. Os coeficientes de determinação foram elevados ($R^2 > 0,92$), o que demonstra a forte relação de proporção entre a variação da radiação solar no ambiente externo e os sistemas de iluminação.

A transmitância nos sistemas de iluminação V:A 70/30, V:A 90/10, V:A 80/20 e controle, foi de 42, 42, 41 e 44 %, respectivamente. Nota-se que a transmitância nos sistemas de iluminação suplementares foram muito próximas, no entanto o controle

apresentou a maior disponibilidade de energia. Essa diferença entre a transmitância observada, é possível, que tenha sido provocada pela estrutura em que os LEDs foram instalados. Segundo Dal Pai et al. (2013), para um mesmo valor da radiação global externa pode haver muitos valores da radiação global interna, o que aumenta a dispersão, e diminui a correlação entre as duas radiações na regressão linear.

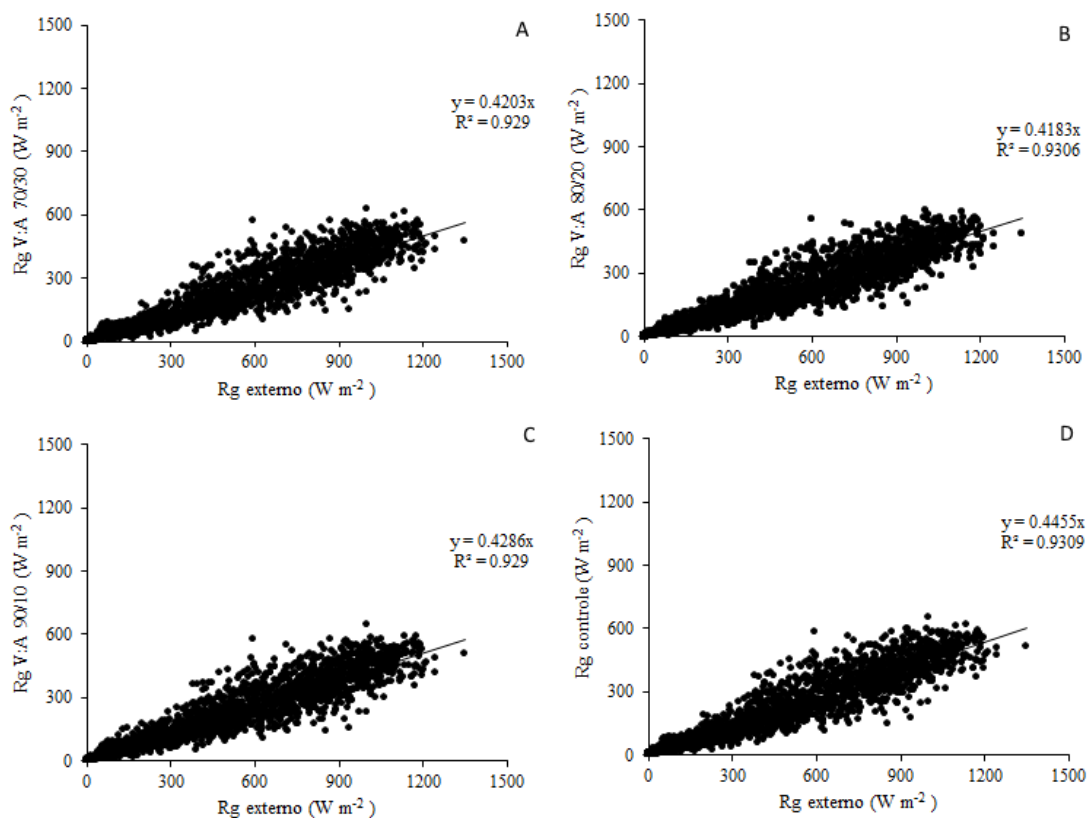


Figura 8. Relações entre a radiação solar global observada no ambiente externo e sob os sistemas de iluminação no interior do ambiente protegido ao longo do período experimental: V:A 70/30 (A); V:A 90/10 (C); V:A 80/20 (B) e controle (D)

A Figura 9 apresenta a variação diária da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ao longo de período experimental. Diferente do observado na distribuição da R_g , a RFA medida sob os sistemas de iluminação (V:A 70/30; V:A 90/10; V:A 80/20), apresentou valores médios ($3,44$, $3,68$, $3,67 MJ m^{-2} dia^{-1}$) superiores ao observado sob o controle ($2,61 MJ m^{-2} dia^{-1}$), durante todo o período. Dessa forma, pode-se afirmar que os sistemas de iluminação suplementares contribuíram para o incremento da RFA.

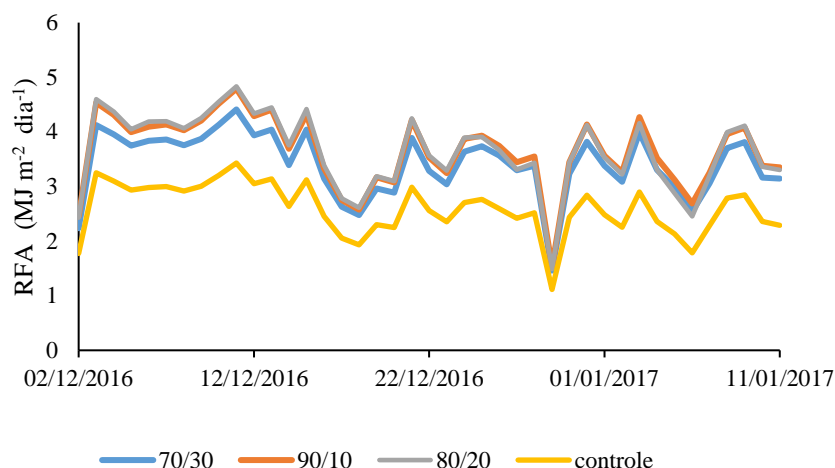


Figura 9. Variação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em cada um dos tratamentos estudados

A Tabela 2 apresenta a relação entre a RFA e a R_g (RFA/R_g) no ambiente protegido para cada sistema de iluminação e o controle. Para os sistemas de iluminação V:A 70/30; V:A 90/10; V:A 80/20 a RFA/R_g média foi de 0,33, 0,36, 0,36, respectivamente. Por outro lado, o controle apresentou razão de 0,25. Comparando-se a proporção de RFA/R_g nos sistemas de iluminação percebe-se que o V:A 90/10 e V:A 80/20 apresentaram os maiores incrementos de RFA em relação ao controle. As proporções de RFA/R_g nos sistemas de iluminação de LED foram muito semelhantes, com variação de 0,03.

Elli et al. (2016), constataram que a redução da quantidade de RFA incidente no sub-bosque dos sistemas agroflorestais ocasionou alterações nas características térmicas e fisiológicas da cana-de-açúcar.

Tabela 2. Proporções da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) média ao longo do período em relação à radiação solar global no interior do ambiente protegido (RFA/R_g)

| | Sistemas de Iluminação LED | | | |
|-----------|----------------------------|-----------|-----------|----------|
| | V:A 70/30 | V:A 90/10 | V:A 80/20 | controle |
| RFA/R_g | 0,33 | 0,36 | 0,36 | 0,25 |

A variação da radiação fotossinteticamente ativa a cada 15 min, para os dia de maior e menor disponibilidade de radiação solar global (11/12 e 29/12/2017) no interior do ambiente protegido, é apresentada na Figura 10. A mesma variação observada para os dados diários foi constatada nos dados instantâneos, porém com uma maior incidência de

RFA nos horários entre as 10 e 15 h. Resultados também encontrados por Caron et al. (2014), que observaram, em ambiente protegido, a máxima radiação fotossinteticamente ativa (RFA) as 12:00h. Nesse mesmo período do dia foram observadas as maiores diferenças nos valores de RFA entre os sistemas de iluminação (V:A 70/30; V:A 90/10; V:A 80/20), e o controle. Em ambos os dias (Figura 10 A e B) verifica-se que no início da manhã e no final da tarde, as diferenças de RFA entre os sistemas de iluminação estudados e o controle foram pequenas.

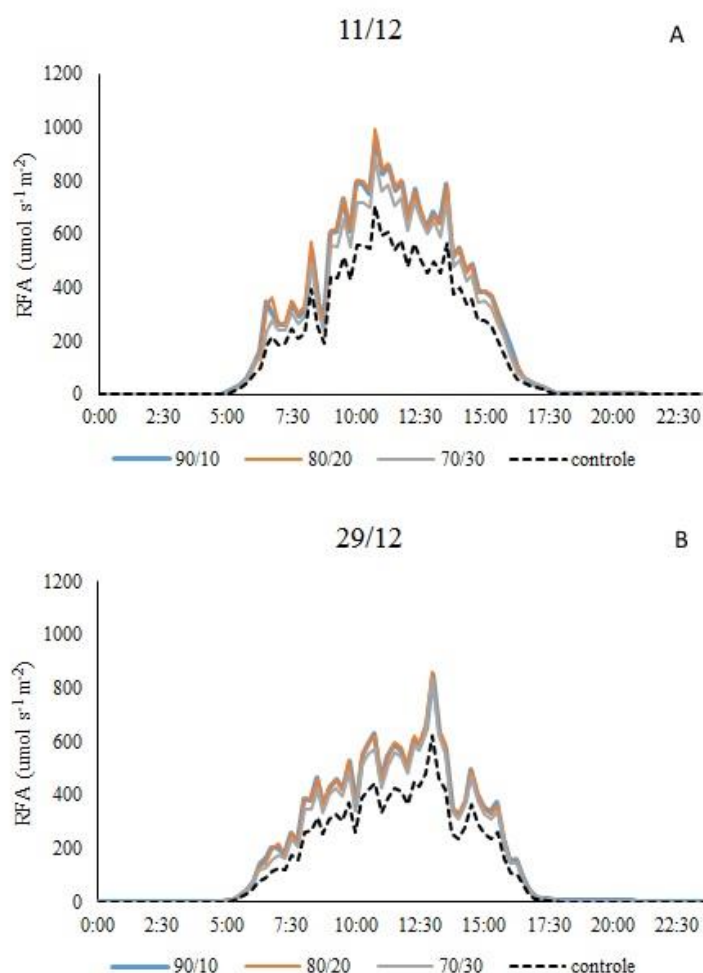


Figura 10. Variação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) a cada 15 min para o dia de maior radiação solar global: 11/12/2017 (A) e menor radiação solar global: 29/12/2017 (B) no interior do ambiente protegido

Observa-se na Figura 11 a distribuição espectral dos sistemas de iluminação LED (V:A 90/10; V:A 80/20; V:A 70/30) e do controle. Em todos os sistemas de iluminação LEDs percebe-se um acréscimo significativo nas faixas do vermelho (620-700 nm) e do azul

(450-495 nm), quando comparados com o controle. O uso da iluminação suplementar pouco alterou a distribuição do comprimento de onda violeta (400-450 nm), amarelo (570-590 nm) e laranja (590-620 nm). Entretanto, para a faixa do comprimento de onda verde, o controle apresentou maior porcentagem. Os resultados ressaltam, a característica dos LEDs de apresentarem comprimento de onda específico (Yeh & Chung, 2009), o que os diferenciam das outras fontes de luz. Os diodos emissores de luz (LEDs) são adequados para suplementação de luz, em razão de sua versatilidade e facilidade de combinações de comprimento de onda (MALUTA et al., 2013). Souza et al. (2011) afirmam que além da intensidade, a qualidade da radiação é determinante para o desenvolvimento das células.

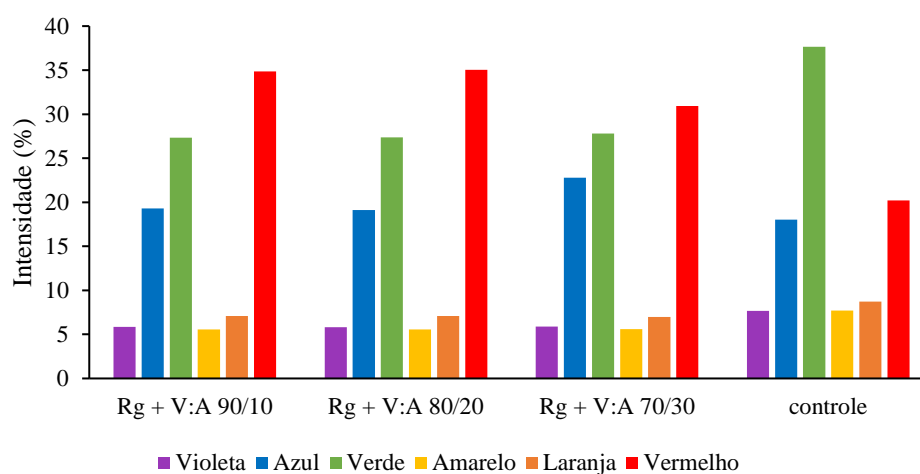


Figura 11. Distribuição espectral dos sistemas de iluminação LED e do controle

Observa-se na Figura 12A, a análise de componentes principais, relacionado à biometria das mudas pré-brotadas altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento do colmo (CC), porcentagem de emergência (EMER), índice de velocidade de brotação (IVB), primeira contagem de emergência (PCE) em conjunto com as variáveis meteorológicas, temperatura do ar (Tar), radiação solar global (Rg) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e a temperatura de substrato (Tbs), até o período de vinte dias após o plantio (DAP). Verificou-se que 77% da variabilidade original foi explicada pelas duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2), em que retiveram 48 e 29%, respectivamente, das informações originais dos dados. Resultados similares foram encontrados por Leite et al. (2016), que com o objetivo de selecionar genótipos de soja com caracteres agrônômicos superiores por meio de análise exploratória multivariada, observaram que na análise de componentes principais, dois autovalores explicaram 68,17% da variância contidas nas informações originais, o que gerou dois componentes

com quantidades de informações relevantes. Noronha (2018), ao avaliar o crescimento vegetativo mensal de cana-de-açúcar, por meio de parâmetros biométricos, em três sistemas de manejo do solo e duas variedades de cana-de-açúcar propagada por mudas pré-brotadas, observou que os dois componentes principais explicaram 78% da variabilidade contida nas informações originais.

Pode-se observar, que a Tar e a Tsb estão agrupadas com a Rg, o que já é esperado devido à alta correlação entre a maior disponibilidade de radiação solar e a Tar, por conseguinte, maiores valores de Tsb (Figura 12A). A temperatura do ar interfere no crescimento celular das plantas, e é considerada um das variáveis que mais influenciam a brotação (JADOSKI et al., 2012). Nota-se, que as variáveis biométricas das mudas (AP, DC e CC) estão relacionadas com a porcentagem de emergência (EMER) e o índice de velocidade de brotação (IVB).

Verifica-se na Figura 12B uma clara separação entre os sistemas de iluminação de LEDs (V:A 80/20, V:A 90/10, V:A 70/30) e o controle. Entende-se que esse agrupamento foi caracterizado pela diferença entre RFA e Rg. No entanto, foi constatado similaridade entre os sistemas de iluminação, em especial entre o V:A 90/10 e o V:A 70/30, que estão mais associados à variável RFA, porém, apresentaram menor relação com as variáveis biométricas. Entre os sistemas de LEDs, o que apresentou maior associação com as variáveis biométricas foi o V:A 80/20. As respostas das plantas à qualidade espectral depende de processos complexos que envolvem ações combinadas dos fotorreceptores e variam conforme o estágio de desenvolvimento e a espécie da planta.

A variações encontradas no presente trabalho indicam que até os 20 DAP as variáveis relacionadas à brotação (EMER e IVB) foram mais significativas para as respostas biométricas AP, DC, CC, do que os diferentes sistemas de iluminação de LED. De acordo com Manhães et al. (2015), além dos fatores ambientais, outros fatores como: variedade; idade e sanidade das gemas; e manejo adotado no plantio, podem afetar o processo de brotação. No estágio de brotação, entende-se que a radiação solar tenha pouco efeito sobre o desenvolvimento das gemas de cana-de-açúcar, de modo que a brotação ocorre mesmo na ausência de radiação (MARIN et al., 2009).

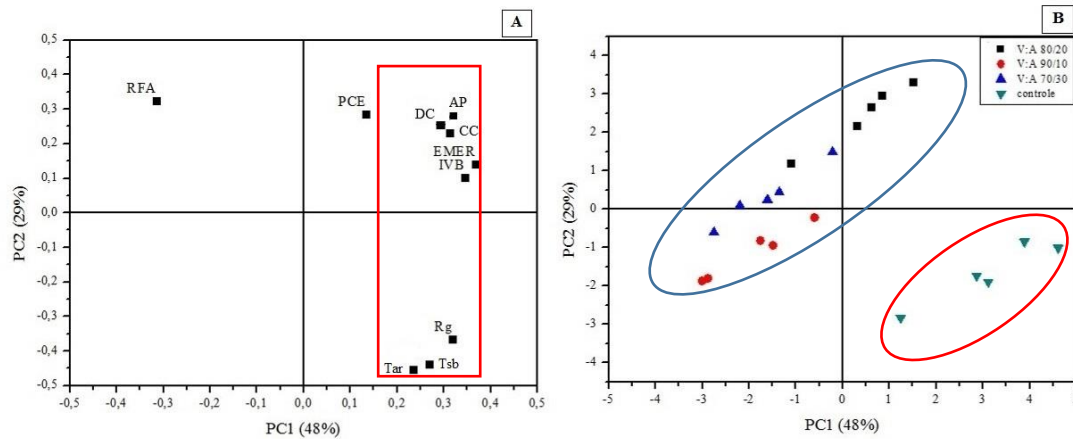


Figura 12. Análise de componentes principais das variáveis biométricas e micrometeorológicas para cada sistema de iluminação até 20 DAP. Coeficientes (A) e scores (B)

Rg = radiação solar global; Tsb = temperatura de substrato; Tar = temperatura do ar; IVB = índice de velocidade de emergência; EMER = porcentagem de brotação; CC = comprimento do colmo; DC = diâmetro do colmo; AP = altura da planta; PCE = primeira contagem de emergência; RFA = radiação fotossinteticamente ativa

Durante o período inicial de brotação da cana-de-açúcar, as reservas nutricionais contidas no rebolo, são fundamentais para evolução do processo, tornando-se menos dependente à medida que o sistema radicular e a parte aérea da planta se desenvolve (MANHÃES et al., 2015). Pode-se entender que os diferentes sistemas de iluminação de LED tenham pouca influência nesse período devido à baixa atividade fotossintética. Em pesquisa onde avaliaram o uso de diferentes materiais refletores em bancadas de cultivo, Santos et al. (2017), observaram que as condições físicas de refletância dos materiais testados não influenciaram o índice de velocidade de emergência do maracujazeiro, apesar dos materiais apresentarem diferentes resultados de radiação fotossinteticamente ativa refletida.

A Figura 13 apresenta a análise de componentes principais, relacionado às variáveis biométricas das mudas pré-brotadas em conjunto com as variáveis meteorológicas, teores de carboidratos totais (CHT) e sacarose (SAC) e número de plantas mortas (NPM), aos 40 DAP. A porcentagem da variância explicada pelos componentes principais PC1 e PC2 são, respectivamente, 33 e 22%.

Observa-se na Figura 13B, que a PC2 foi responsável pela formação de dois grupos distintos entre os sistemas de iluminação LED (V:A 80/20, V:A 90/10, V:A 70/30) e o controle. Na porção superior do gráfico está o controle, na porção inferior estão os sistemas de iluminação LED. A Figura 13A destacou que as principais responsáveis pelo

agrupamento observado são as variáveis Rg e CHT, que estão localizadas na parte superior do gráfico, e a variável RFA, na parte negativa do gráfico de coeficientes. Do ponto de vista físico essa diferença pode ser relacionada à maior disponibilidade de RFA presente nos sistemas de iluminação de LED. Nota-se também, a correlação entre as variáveis fisiológicas CHT e SAC, com a Rg.

Verifica-se uma separação entre o sistema de iluminação LED V:A 80/20 dos demais, cuja as variáveis que mais contribuíram para esta distinção, foram: CC, AP, DC e IAF (Figura 13A). Ferreira et al. (2016) observaram que plantas expostas ao LED apresentaram médias superiores para altura de parte aérea e número de folhas quando comparadas às plantas cultivadas sob lâmpadas fluorescentes. Silva et al. (2014), avaliaram diferentes combinações de luz, a partir de diodos emissores de luz em cana-de-açúcar cultivada *in vitro*, e constataram maiores valores de altura da planta, quando submetidas ao tratamento em que a proporção de vermelho e azul foi de 70/30%, respectivamente. No entanto, para o número de folhas, no presente estudo, os maiores valores foram encontrados nos tratamentos que apresentaram maiores proporções de azul.

Apesar de apresentarem menor influência, ao analisar a PC1, constata-se que as variáveis CR e NPM também contribuem para o agrupamento caracterizado pelo sistema V:A 80/20.

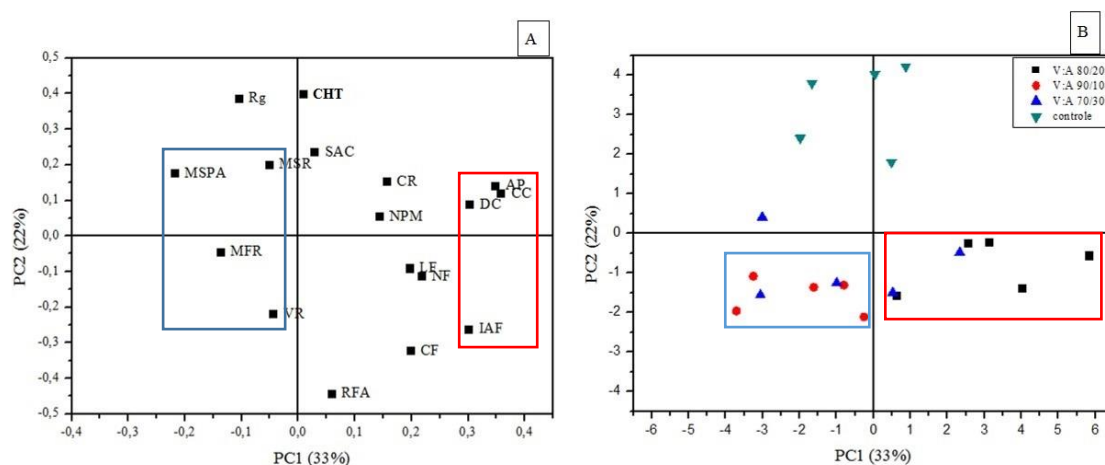


Figura 13. Análise de componentes principais das variáveis biométricas e micrometeorológicas para cada sistema de iluminação aos 40 DAP. Coeficientes (A) e scores (B)

Rg = radiação solar global; RFA = radiação fotossinteticamente ativa; CC = comprimento do colmo; DC = diâmetro do colmo; AP = altura da planta; IAF: índice de área foliar; NF = número de folhas; CF = comprimento da folha; LF = largura da folha; NPM = número de plantas mortas; CR = comprimento de raiz; SAC = teor de sacarose; CHT = teor de carboidratos totais; MSR = massa seca da raiz; VR = volume de raiz; MFR = massa fresca da raiz; MSPA = massa seca da parte aérea

O grupo formado pelo sistema V:A 90/10 apresentou maior relação com as variáveis MSPA, MFR, MSR e VR. Maluta et al. (2013) verificaram maiores valores de massa de matéria seca nas plantas cultivadas sob iluminação com maiores proporções de vermelho (100% e V:A 70/30%). Essa relação, contrasta com os resultados observados por Silva et al. (2014), que encontraram maior associação entre o peso fresco total em plantas de cana-de-açúcar cultivadas sob tratamentos com maior proporção de luz azul (70%). Segundo Maluta et al. (2013) sabe-se pouco a respeito da resposta da cana-de-açúcar quando exposta a diferentes fontes luz, o que ressalta a importância de se avaliar os efeitos de possíveis combinações de LED no porte das mudas.

4. Conclusões

A utilização da iluminação suplementar a base de diodo emissor de luz no interior do ambiente protegido, promoveu o acréscimo da radiação fotossinteticamente ativa ao longo de todo o período de aclimação.

O incremento nos comprimentos de onda azul e vermelho promovidos pelos sistemas de iluminação suplementar, apresentaram pouca influência em relação à brotação e as variáveis biométricas das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, aos 20 dias após o plantio.

O sistema de iluminação V:A 80/20 foi o que apresentou maior associação com as variáveis biométricas das mudas, ao fim do período de aclimação.

5. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n.5, p.1441-1444, 2008.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p.711-728, 2013.

ANDRADE, J. W. D. S.; FARIAS JÚNIOR, M.; SOUSA, M. A. D.; ROCHA, A. C. Utilização de diferentes filmes plásticos como cobertura de abrigos para cultivo protegido. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 3, p. 437-443, 2011.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; DAMASCENO, L. M. O.; DIAS, N. S.; GHEYI, H. R.; GUISELINI, C. Climate variations in greenhouse cultivated with gerbera and relationship with external conditions. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 5, p. 857-867, 2011.

ANDRÉ, R. G. B., MENDONÇA, J. C., MARQUES, V. D. S., PINHEIRO, F. M. A., MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 3, p. 375-382. 2010.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. Recife: Ed. Universitária da UFRPE, 2011. 161p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar, v. 2, safra 2017/2018, n. 4. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_08_09_08_38_cana_deze mbro_novo.pdf> Acesso em: 12/01/2018.

CARON, B.O.; PERRANDO, E.R.; SCHMIDT, D.; MANFRON, P.A.; BEHLING, A.; ELLI, E.F.; ELOY, E. Relações fisiológicas em mudas de pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 16, n. 2, 196-201, 2014.

DAL PAI, E.; ESCOBEDO, J. F.; MARTIN, D. Radiações UV, PAR e IV em estufa de polietileno. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 4, n. 1, p. 01-08 2016.

DARKO, E.; HEYDARIZADEH, P.; SCHOEFS, B.; SABZALIAN, M. R. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 369, 2014.

ELLI, E. F., CARON, B. O., DE PAULA, G. M., ELOY, E., SCHWERZ, F., & SCHMIDT, D. Ecophysiology of sugarcane in the understory of *Peltophorum dubium* Spr. in agroforestry systems arrangements. *Comunicata Scientiae*, v. 7, n. 4, 464-472. 2016.

FERRARI, D. L.; LEAL, P. A. M. Uso de tela termorrefletora em ambientes protegidos para cultivo do tomateiro. *Engenharia Agrícola*, v. 35, n. 2, p. 180-19, 2015.

FERREIRA, L. T.; ARAÚJO SILVA, M. M., MACÊDO, C. R.; WILLADINO, L. Fonte de luz e concentração de sacarose no cultivo in vitro da cana-de-açúcar (RB 867515). *Plant Cell Culture & Micropropagation*, v. 12, n. 2, p. 46-52, 2016.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. D.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; SANTOS, M. A. D.; PORFIRIO, A. Growth and photosynthesis of sugarcane based on biometric and meteorological variables. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p.1229-1236, 2012.

GAZOLA, T.; CIPOLA FILHO, M. L.; FRANCO JÚNIOR, N. C. Avaliação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar provenientes de substratos submetidos a adubação química e orgânica. *Científica*, v. 45, n. 3, p. 300-306, 2017.

GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; BARROS, A. C.; SILVA, L. F.; SILVA NETO, S. P. Aclimatização de mudas de cana-de-açúcar em ambiente protegido sob dois tipos de malhas de sombreamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 8, 2013.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; RODRIGUES, J. D. Desenvolvimento morfofisiológicos de raízes e brotos da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* L.). *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 11, n. 2, p 22-32, 2012.

LANDELL, M. G; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIÃO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL P. E. M. Sistema de multiplicação de

cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Ribeirão Preto: Instituto Agronômico de Campinas, 2012. 17p. (Documentos IAC, 109).

LEITE, W. D. S.; PAVAN, B. E.; ALCANTARA NETO, F.; MATOS FILHO, C. H. A.; FEITOSA, F. S.; OLIVEIRA, C. B. Multivariate exploratory approach and influence of six agronomic traits on soybean genotypes selection. *Nativa*, v. 4, n. 4, p. 206-210. 2016.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; FRANCELINO, H. O.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. *Vértices*, v. 17, n. 1, p. 163-181, 2015.

MALUTA, F. A.; BORDIGNON, S. R. ROSSI, M. L. AMBROSANO, M. B.; RODRIGUES, P. H. V. Cultivo in vitro de cana-de-açúcar exposta a diferentes fontes de luz *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 48, p.1303-1307, 2013.

MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília, DF: INMET, 2009, 530 p.

MARIN, F. R.; MARTHA, G. B.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P. Prospects for increasing sugarcane and bioethanol production on existing crop area in Brazil. *BioScience*, v. 66, n. 4, p. 307-316. 2016.

MORROW, R. C. LED lighting in horticulture. *HortScience*, v. 43, n.7, p. 1947-1950, 2008.

NORONHA, R. H. F. Plantio de mudas pré brotadas (MPB) de cana de açúcar em sistemas de manejo conservacionista de solo. 2018. 77 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

OLIVEIRA, A. R., BRAGA, M. B., SANTOS, B. L. S., WALKER, A. M. Análise biométrica de cultivares de cana-de-açúcar cultivadas sob estresse hídrico no vale do submédio São Francisco. *Energia na Agricultura*, v. 31, n. 1, p. 48-58. 2016.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar. RIDESA, Curitiba, 2010, 136 p.

REIS, L. S.; DE AZEVEDO, C. A.; ALBUQUERQUE, A. W.; JUNIOR, J. F. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.4, p.386-391, 2013.

SANTOS, T. V.; LOPES, T. C.; SILVA, A. G.; PAULA, R. C. M.; COSTA, E.; BINOTTI, F. F. S. Produção de mudas de maracujá amarelo com diferentes materiais refletores sobre bancada. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 4, n. 4, p. 26-32, 2017.

SINGH, D.; BASU, C.; MEINHARDT-WOLLWEBER, M.; ROTH, B. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 49, p.139-147, 2015.

SOUZA, G. S.; CASTRO, E. M.; SOARES, Â. M.; SANTOS, A. R., ALVES, E. Photosynthetic pigments content, photosynthesis rate and chloroplast structure in young plants of *Mikania laevigata* Schultz Bip. ex Baker grown under colored nets. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, supl. 1, p. 1843-1854, 2011.

YEH, N.; CHUNG, J.P. High-brightness LEDs - Energy efficient lighting sources and their potential in door plant cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Taiwan, v. 13, p.1- 6, 2009.

CAPÍTULO III

DESEMPENHO EM CAMPO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE- AÇÚCAR SUBMETIDAS A ILUMINAÇÃO SUPLEMENTAR NA FASE DE ACLIMATAÇÃO

DESEMPENHO EM CAMPO DE MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDAS A ILUMINAÇÃO SUPLEMENTAR NA FASE DE ACLIMATAÇÃO

RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador de cana-de-açúcar do mundo, o setor sucroenergético tem investido no desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de plantio para atender a demanda crescente. Dessa forma, objetivou-se com essa pesquisa, avaliar o desempenho de cana-açúcar em campo, provenientes de mudas pré-brotadas expostas à iluminação suplementar a base de diodo emissor de luz no período de aclimatação em ambiente protegido. O experimento foi realizado na estação experimental de cana-de-açúcar de Carpina (EECAC-UFRPE). As parcelas experimentais foram compostas por mudas pré-brotadas aclimatizadas em ambiente protegido, expostas aos sistemas de iluminação suplementar, 90% vermelho + 10% azul (V:A 90/10), 80% vermelho + 20% azul (V:A 80/20), 70% vermelho + 30% azul (V:A 70/30) e, controle. O delineamento foi em blocos casualizados, com cinco repetições. A avaliação do crescimento das mudas foi realizada por meio de indicadores biométricos: altura da planta (AP, cm); comprimento do colmo (CC, cm); diâmetro do colmo (DC, cm) e o número de perfilhos (NP). As variáveis biométricas não apresentaram diferenças significativas, no entanto, as plantas submetidas aos sistemas de iluminação com maior proporção do comprimento de onda vermelho (V:A 80/20 e V:A 90/10), apresentaram maior percentual de sobrevivência no campo e plantas de maior porte.

Palavras-chave: biometria vegetal, diodo emissor de luz, qualidade de radiação

FIELD PERFORMANCE OF PRE-SPROUTED SUGARCANE SEEDLINGS UNDER SUPPLEMENTARY LIGHTING IN THE ACCLIMATION STAGE

ABSTRACT

Brazil is the largest producer and exporter of sugarcane in the world, the sugar and ethanol sector has invested on the development of new technologies and methods of planting to meet the growing demand. Thus, the aim of this research was to evaluate the performance

of sugarcane under field condition, from pre-sprouted seedlings exposed to supplementary lighting, through light-emitting diode, in the period of acclimation in a greenhouse. The experiment was carried out at the Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC-UFRPE). The experimental plots were composed of pre-sprouted seedlings acclimatized in greenhouses, exposed to the supplementary lighting systems, 90% Red + 10% Blue (R:B 90/10), 80% Red + 20% Blue (R:B 80 / 20), 70% Red + 30% Blue (R:B 70/30), and control. The experimental design was randomized blocks with five replicates. The evaluation of seedling growth was performed through the measurement of biometric indicators: plant height (AP, cm); stem length (CC, cm); stem diameter (DC, cm) and tillers number (NP). The biometric indicators showed no significant differences, though plants under lighting systems with a greater proportion of the red wavelength (R:B 80/20 and R:B 90/10) were larger and presented a higher percentage of survival in the field..

Keywords: vegetable biometrics, light-emitting diode, radiation quality

1. Introdução

O aumento da demanda e a redução do estoque de açúcar no mercado mundial, deve sustentar a produção de cana-de-açúcar pela próxima década, e continuará a ser a principal cultura utilizada para fabricação de açúcar, em especial, nos países em desenvolvimento da África, Ásia e América do Sul. O Brasil é o maior produtor e exportador de cana-de-açúcar do mundo, e a previsão é que o setor se recupere da crise financeira dos últimos anos, e assim, volte a investir na renovação e expansão das áreas de plantio (OECD/FAO, 2017).

A estimativa de produção brasileira de cana-de-açúcar, da safra 2017/2018, é de 635,6 milhões de toneladas, uma redução de 3,3% em relação à safra passada. A estimativa da produção de etanol total é de 27,1 bilhões de litros, 2,6% inferior a produção da safra passada, que atingiu 27,81 bilhões de litros (CONAB, 2017).

Para atender essa demanda crescente, e na busca de maior produtividade, o setor sucroenergético tem investido no desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de plantio. O desenvolvimento de mudas pré-brotadas tem sido uma das técnicas mais promissoras, tanto para a formação de viveiros, quanto para o plantio comercial. A técnica altera a forma com que a cana é plantada, ao trocar o uso dos colmos como sementes, por mudas pré-brotadas, produzidas a partir dos minirrebolos tratados. Segundo Gazola et al.

(2017), para o setor sucroenergético continuar a avançar de forma sustentável, novas técnicas de produção de mudas devem ser estudadas, com o objetivo de tornar o processo mais ágil.

Ao longo do período de produção, as mudas passam pela fase de aclimatização, em que, pode-se realizar o manejo das variáveis ambientais, com o objetivo de se obter mudas mais resistentes e vigorosas. Entre essas variáveis, a radiação solar tem influência direta no desenvolvimento das mudas. De acordo com Souza et al. (2011), as plantas cultivadas sob radiação intensa desenvolvem células mesófilas ricas em cloroplasto, maior matéria seca e maior produção. No entanto, afirmam que além da intensidade, a qualidade da radiação também é determinante para que se desenvolvam essas células.

Almeida et al. (2002), avaliaram os efeitos da qualidade da radiação, em cultivares de trigo, e constataram que as repostas à suplementação podem ser determinadas pelo crescimento da planta, e diferenciadas para cada cultivar, como também a interação entre a qualidade de radiação e os fatores fisiológicos e bioquímicos das cultivares refletem o grau de sensibilidade aos efeitos da suplementação. Cardozo & Sentelhas (2013) ressaltam a necessidade de estudos que demonstrem a influência das variáveis climáticas sobre as plantas, em especial no equilíbrio das enzimas que regulam o crescimento vegetativo e a maturação da cana-de-açúcar.

Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa, avaliar o desempenho de cana-açúcar em campo, provenientes de mudas pré-brotadas expostas à iluminação suplementar a base de diodo emissor de luz no período de aclimatação em ambiente protegido.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado na estação experimental de cana-de-açúcar de Carpina (EECAC-UFRPE), no município de Carpina, estado de Pernambuco, latitude de 7° 51'03" s, longitude de 35° 15'17" w e altitude de 184 m, no período de janeiro de 2017 a setembro de 2017. O clima é caracterizado como megatérmico (As`) com precipitação de inverno e com estação seca do verão até outono, com temperatura média anual é de 25,2 °C, segundo classificação de Köppen (SENTELHAS et al., 1999).

A classe predominante de solo é Argissolo Amarelo distrocoeso abrupto com textura areno-argilosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (SANTOS et al., 2013).

Foram utilizadas mudas pré-brotadas (MPB) da variedade de cana-de-açúcar RB92579, aclimatizadas em ambiente protegido e submetidas a iluminação suplementar a base de diodo emissor de luz (LED), em que a proporção de luz foi de 90% vermelha + 10% azul (V:A 90/10), 80% vermelha + 20% azul (V:A 80/20), 70% vermelha + 30% azul (V:A 70/30) e, controle, exposta a radiação solar natural.

Na fase de aclimação em ambiente protegido, a avaliação do crescimento das mudas foi realizada, levando-se em consideração as variáveis biométricas das plantas: altura da planta (AP, cm); comprimento do colmo (CC, cm); diâmetro do colmo (DC, cm); número de folhas (NF); e comprimento da raiz (CR, cm).

O volume de raiz (VR, mm³) foi obtido pelo deslocamento de volume de água em proveta graduada. O sistema radicular e a parte aérea foram colocados em estufa a 60 °C por 72 h, em seguida foi realizada a pesagem do material para determinação da massa seca da raiz (MSR, g).

O teor de carboidratos solúveis totais e sacarose foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Bezerra Neto & Barreto (2011), em que foi obtida uma curva por solução padrão de glucose, para o teor de carboidratos solúveis totais e, outra curva por solução padrão de sacarose, para o teor de sacarose, nas respectivas concentrações de 25, 50, 100, e 200 mg.L⁻¹.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, composto por três sistemas de iluminação suplementar, em que a proporção de luz foi de 90% vermelha + 10% azul (V:A 90/10), 80% vermelha + 20% azul (V:A 80/20), 70% vermelha + 30% azul (V:A 70/30) e, controle, com radiação solar natural, com 5 repetições, cada repetição composta por 5 bandejas de 15 células, no total de 75 mudas.

Ao final da fase de aclimação (40 dias) as mudas foram transplantadas para caixas plásticas agrícola, onde permaneceram em bancadas de cultivo a pleno sol, por quinze dias, processo conhecido como rustificação (Figura 1). Nesta fase a irrigação foi diária, realizada de forma manual, com lâmina de 4 mm dia⁻¹. Bem como, foram realizadas duas podas da parte aérea, a cada sete dias.



Figura 1. Vista da bancada de rustificação

O preparo do solo para o plantio das mudas no campo foi realizado quinze dias antes do plantio e consistiu de uma gradagem (grade aradora e grade niveladora) para destorroamento, eliminação dos restos culturais, incorporação do calcário, sistematização da área e posterior abertura dos sulcos de plantio. A adubação foi realizada de acordo com manejo empregado pela EECAC, onde foram aplicados 12 kg ha^{-1} de N, 24 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 18 kg ha^{-1} de K_2O . O plantio foi realizado manualmente, com espaçamento de 1,5 m entre linhas e 0,5 m entre mudas. No campo, as plantas de cana-de-açúcar foram conduzidas sob regime de sequeiro.

As parcelas experimentais foram compostas pelas mudas pré-brotadas aclimatizadas em ambiente protegido, as quais, foram expostas aos sistemas de iluminação suplementar, delineados em blocos casualizados, com cinco repetições (Figura 2). Cada parcela experimental foi composta por 4 linhas com 10 plantas.

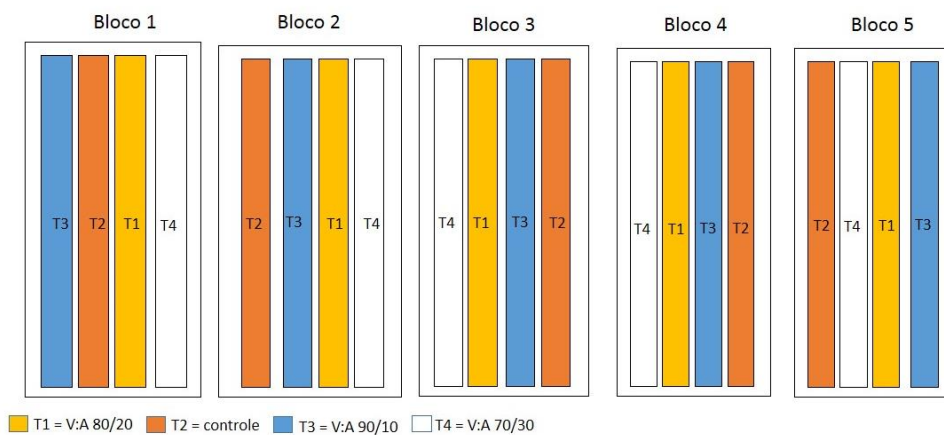


Figura 2. Croqui da área experimental

As análises biométricas da planta foram realizadas aos 45 e aos 227 dias após o plantio (DAP). Foram realizadas as medidas do diâmetro do colmo (DC, cm), por meio de um paquímetro digital, na altura de 20 cm a partir de sua base; altura da planta (AP, m), com um auxílio de uma trena, partindo-se do colo até a inflexão da folha +1; comprimento do colmo (CC), com auxílio de uma trena, medido a partir do colo da planta até o último colmo visível, e número de perfilhos (NP) por planta. Realizou-se a contagem do número de plantas mortas (NPM) e o cálculo do percentual de sobrevivência das mudas e de plantas adultas (%S).

Para caracterização meteorológica do período do experimento foram utilizados os dados de temperatura do ar (T_a , °C), umidade relativa do ar (UR, %), precipitação pluviométrica (mm) e radiação solar global (R_g , MJ m⁻² dia⁻¹), da estação meteorológica da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), instalada na ECAC.

Os dados foram submetidos análise de variância e as médias obtidas avaliadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), utilizando-se o software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1, observa-se os valores médios do percentual de emergência das mudas (EMER), índice de velocidade de brotação (IVB), das variáveis biométricas, altura da planta (AP), comprimento do colmo (CC), diâmetro do colmo (DC), massa seca da raiz (MSR), comprimento da raiz (CR), volume da raiz (VR) e os teores de carboidratos totais (CHT) e sacarose (SAC) aos 40 dias após a emergência (DAE). Para a EMER e o IVB verificou-se valores superiores nas mudas submetidas ao controle (64,00% e 2,96) quando comparados com o sistema de iluminação suplementar V:A 80/20 (61,87% e 2,82), no entanto, não apresentaram diferença significativa entre si.

Quanto as variáveis biométricas AP e CC, observou-se maior média no sistema V:A 80/20, com valores da ordem de 40,68 e 12,59 cm, respectivamente, sendo significativamente superior quando comparado com ao V:A 90/10. Elia (2016), constatou altura da muda de 39,4 cm aos 51 dias após o plantio em campo. Silva et al. (2014), ao avaliarem diferentes combinações de comprimento de onda no cultivo de cana-de-açúcar *in vitro* sob iluminação a base de LED, observaram que as plântulas cultivadas sob maior proporção de vermelho apresentaram os maiores valores de altura.

Para o DC, não houve resposta significativa entre os sistemas de iluminação estudados, com valores que variaram de 0,43 (V:A 90/10) a 0,47 cm (V:A 80/20). Cristofolletti Junior (2012), ao avaliar a emergência de mini toletes de nove variedades cana-de-açúcar, verificaram valores do diâmetro da planta que variaram de 4,45 a 4,89 cm, aos 48 DAP. O IAF das mudas submetidas aos sistemas de iluminação suplementar (V:A 80/20, V:A 90/10 e V:A 70/30) foram superiores (4,73, 3,72 e 4,14), porém apenas o sistema V:A 80/20 apresentou diferença significativa quando comparado ao controle (3,34).

O maior CHT foi observado no controle (130,29 mg L⁻¹), este, apresentou diferença significativa quando comparado com os sistemas de iluminação suplementar (V:A 80/20, V:A 90/10 e V:A 70/30). Verificou-se menor CHT no sistema V:A 90/10 (86,43 mg L⁻¹). Já para o SAC, a iluminação suplementar não apresentou diferença significativa.

O uso da iluminação suplementar não afetou a MSR, o CR e o VR de forma significativa. Resultados semelhantes aos verificados por Ferreira et al. (2017), que não encontram diferenças significativas para o comprimento da raiz após o período de aclimatização de cana-de-açúcar expostas a iluminação de LED no cultivo *in vitro*.

Para a MSR e CR, verificou-se os maiores valores no controle (0,238 g e 15,32 cm). Elia (2016), obteve valor de 11,3 cm para o tamanho da raiz de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar cultivada sem irrigação, aos 51 dias após o plantio em campo. Segundo Silva et al. (2016) os efeitos da qualidade do espectro de luz na produção de matéria seca da raiz, em geral, ainda são contraditórios e inconclusivos. No sistema V:A 90/10 observou-se maior VR, com valor da ordem de 10 cm³.

Tabela 1. Valores médios das variáveis biométricas das mudas ao fim da fase de aclimatização (40 DAE)

| Variáveis biométricas | Sistemas de Iluminação Suplementar | | | | CV (%) |
|---------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|----------|--------|
| | V:A 80/20 | V:A 90/10 | V:A 70/30 | controle | |
| EMER (%) | 61,87 a | 42,40 b | 44,00 b | 64,00 a | 14,40 |
| IVB | 2,82 a | 1,91 b | 2,06 b | 2,96 a | 13,72 |
| AP (cm) | 48,68 a | 44,20 b | 45,62 ab | 47,26 ab | 4,16 |
| CC (cm) | 12,59 a | 11,32 b | 11,51 ab | 12,01 ab | 5,08 |
| DC (cm) | 0,47 a | 0,43 a | 0,44 a | 0,45 a | 5,65 |
| IAF | 4,73 a | 3,72 ab | 4,14, ab | 3,34 b | 14,06 |
| CHT (mg L ⁻¹) | 103,44 b | 86,43 c | 109,78 b | 130,29 a | 8,69 |
| SAC (mg L ⁻¹) | 178,38 a | 145,87 a | 187,71 a | 206,36 a | 24,22 |
| MSR (g) | 0,197 a | 0,210 a | 0,229 a | 0,238 a | 18,25 |

| | | | | | |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|-------|
| CR (cm) | 15,18 a | 14,16 a | 14,27 a | 15,32 a | 8,78 |
| VR (cm ³) | 7,0 a | 10,0 a | 8,0 a | 7,0 a | 30,19 |

Médias seguidas das mesmas letras nas mesmas linhas não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

EMER = percentual de emergência; IVB = índice de velocidade de brotação; AP = altura da planta; CC = comprimento do colmo; DC = diâmetro do colmo; IAF: índice de área foliar; CHT = teor de carboidrato totais; SAC = teor de sacarose; MSR = massa seca da raiz; CR = comprimento de raiz; VR = volume de raiz

DAE = dias após a emergência

Observa-se na Figura 3, a variação média diária da temperatura do ar (Tar), da umidade relativa do ar (UR) e da precipitação pluviométrica do período. A precipitação total no período foi de 932,2 mm. Os maiores valores mensais de precipitação, ocorreram entre os meses de maio e julho, os quais, corresponderam a 65,4 % do total acumulado ao longo do período avaliado (Figura 3). A menor precipitação mensal ocorreu no mês de fevereiro (33,5 mm). Simões Neto et al. (2015), observaram precipitação de 998,8 mm, em pesquisa realizada na estação experimental de cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), em sistema de cultivo de cana de um ano e meio. Oliveira et al. (2011), verificaram precipitação de 1.181 mm, em pesquisa também realizada na EECAC.

Segundo Meneses & Resende (2016), um dos principais fatores que afetam a produtividade da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do Nordeste Brasileiro, consiste na distribuição irregular das chuvas, dessa forma, torna-se necessário manejar a cultura de modo que os períodos de maior necessidade hídrica, como o do crescimento vegetativo da cultura, coincidam com o de maior disponibilidade de água no solo. No presente trabalho, o período de realização do plantio das mudas coincidiu com o mês de menor precipitação. A época de plantio da cana-de-açúcar é um dos aspectos de maior relevância para se ter boa produtividade final ou bom estande de mudas.

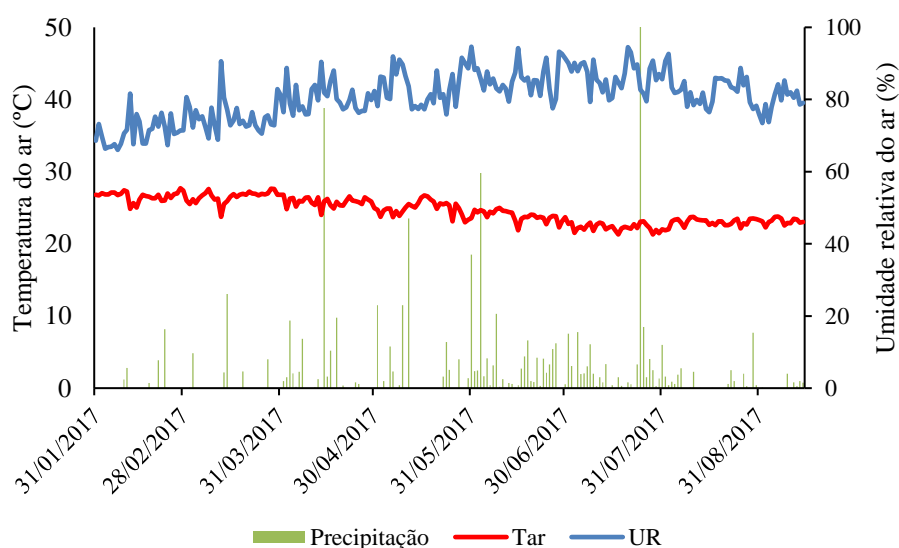


Figura 3. Variação diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação ao longo do período experimental

A UR média diária, observada no período, foi de 80,7%. A UR mínima diária foi observada no mês de fevereiro (66%) e a UR máxima no mês maio (94,6%) (Figura 4). De forma geral, os maiores valores de UR ocorreram no período chuvoso, assim como, os menores valores, foram observados no período de menor precipitação pluviométrica (Figura 3).

A Tar média ao longo do período estudado, variou de 21,2 a 27,7 °C, com média diária de 24,6 °C (Figura 4). Oliveira et al. (2011), em pesquisa realizada no município de Carpina, PE, verificaram temperatura média anual superior a 25 °C. Os valores de Tar mais altos foram observados no mês de fevereiro e março (26,6 e 26,5 °C). De outra forma, o menor valor, foi registrado no mês de julho, com Tar média de 22,2 °C. Nota-se que ao longo do período estudado, que a Tar não foi um fator restritivo para o crescimento da cana-de-açúcar, e permaneceu dentro da faixa (20 - 30 °C) considerada ótima para seu desenvolvimento em campo, com valores inferiores a 16 °C e superiores a 38 °C o seu crescimento tornar-se nulo (MARIN et al., 2009).

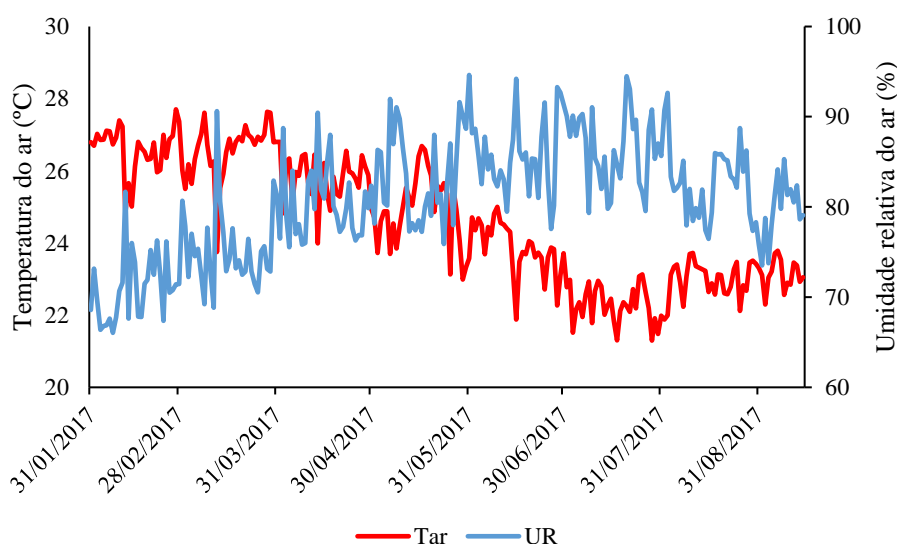


Figura 4. Variação diária da umidade relativa do ar e da temperatura do ar ao longo do período experimental

Observa-se na Figura 5, a variação média da radiação solar global diária (Rg) ao longo do período. A Rg média diária foi de 25,11 MJ m⁻² dia⁻¹, com mínima de 8,44 MJ m⁻² dia⁻¹

¹ e máxima de $37,85 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. O mês de fevereiro apresentou maior média mensal da R_g ($29,18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Na fase de desenvolvimento vegetativo, processos dependentes da radiação solar, como, o perfilhamento, é favorecido pela radiação solar intensa (MARIN et al., 2009).

Os menores valores médios mensais da R_g foram observados nos meses de maio e julho, com valores da ordem de $22,55$ e $18,95 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Segundo Marafon (2012) para o bom crescimento e desenvolvimento da cultura são necessários dias com radiação solar global média acima de $18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A radiação solar é a principal variável ambiental que influencia no acúmulo de matéria seca vegetal, quando as exigências de água, nutrientes e fitossanidade são atendidas (FERREIRA JÚNIOR et al., 2014). Araújo et al. (2017), constataram que nos ambientes de produção com maior incidência de radiação solar na fase inicial da cultura, foram verificados os maiores números de perfilhos. A radiação é um dos fatores mais importante para o perfilhamento da cana-de-açúcar, pois a incidência da radiação solar na base da planta nesse período, ativa as gemas vegetativas basais. No caso de baixa intensidade de radiação solar, o perfilhamento seria diminuído ou cessado (JADOSKI et al., 2010). A intensidade e a qualidade da radiação solar no interior do dossel influenciam os processos fisiológicos das plantas, portanto, afeta de forma direta a produção (BRUNINI & TURCO, 2016).

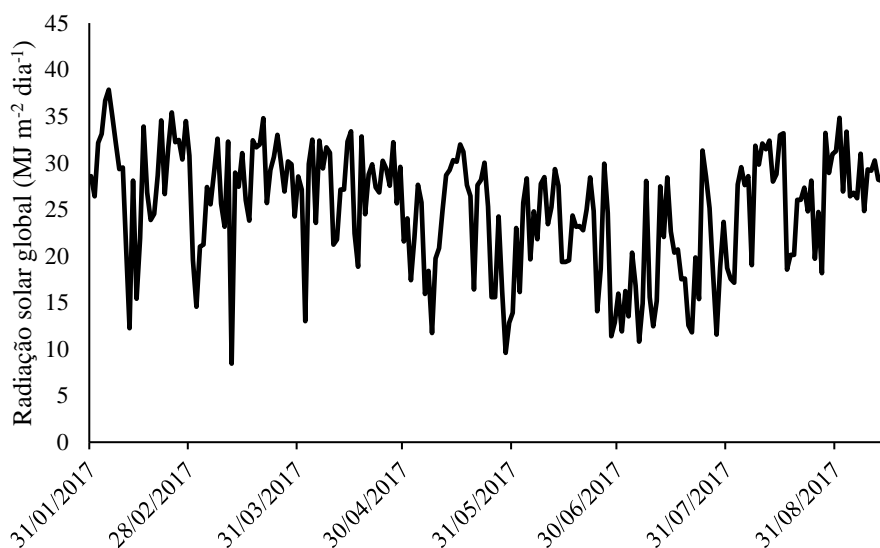


Figura 5. Variação diária da radiação solar global longo do período experimental

Observa-se na Tabela 2, o percentual de sobrevivência (%S) das mudas em campo aos 45 e aos 227 dias após o plantio (DAP). As plantas provenientes das mudas submetidas

aos sistemas de iluminação suplementar de LED V:A 80/20 e V:A 90/10 apresentaram, numericamente, percentual de sobrevivência superior, quando comparadas com ao sistema V:A 70/30 e ao controle, aos 45 DAP. No entanto, no período avaliado, os valores percentuais de sobrevivência não apresentaram diferença significativa entre si. Rocha et al. (2013) constataram que plântulas cultivadas *in vitro* sob LEDs vermelhos, apresentaram maior percentual de sobrevivência quando transplantadas para a fase de aclimatização. Entre os sistemas de iluminação suplementar, no presente estudo, destacou-se o V:A 80/20, o qual, apresentou percentual de sobrevivência de 90,91%. Ao fim do período experimental (227 DAP), houve uma redução no percentual de sobrevivência das plantas adultas, formadas a partir de mudas submetidas aos sistemas de iluminação suplementar, entre os quais, o sistema V:A 90/10 apresentou o maior valor (78,83%) e o sistema V:A 70/30, o menor (62,40%) (Tabela 2). Elia (2016) constataram mortalidade total de 37,9% aos 156 DAP, em mudas pré-brotadas cultivadas sem irrigação, os autores ressaltam a importância da irrigação logo após o plantio para garantir o estabelecimento das mudas.

Nota-se, que embora os resultados não tenham apresentado diferenças significativas, as plantas submetidas aos sistemas de iluminação com maior proporção do comprimento de onda vermelho (V:A 80/20 e V:A 90/10), apresentaram os maiores %S. Ferreira et al. (2017) ao estudarem os efeitos da iluminação LED na aclimatização de cana-de-açúcar em cultivo *in vitro*, verificaram que as plantas cultivadas sob LEDs (82% vermelho e 18% azul), aumentaram a porcentagem de sobrevivência após serem transplantadas. O espectro na faixa do vermelho está próximo dos picos máximos de absorção de luz de clorofila e fitocromos, por esta razão, torna-se importante para o aparelho fotossintético, para acumulação de amido e aumento do desenvolvimento dos brotos (ROCHA et al., 2010).

Tabela 2. Valores médios do número de plantas mortas (NPM) e percentual de sobrevivência (%S) aos 45 e aos 227 dias após o plantio (DAP)

| | 45 DAP | | 227 DAP | |
|-----------|--------|---------|---------|---------|
| | NPM | %S | NPM | %S |
| V:A 80/20 | 3,2 | 90,91 a | 10 | 72,87 a |
| V:A 90/10 | 3,4 | 87,72 a | 6 | 78,83 a |
| V:A 70/30 | 6 | 76,07 a | 9 | 62,40 a |
| controle | 6 | 82,72 a | 12 | 65,62 a |
| CV (%) | 93,06 | 16,92 | 50,35 | 23,40 |

Médias seguidas das mesmas letras nas mesmas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. NPM = número de plantas mortas; %S = percentual de sobrevivência

Na Tabela 3, são apresentados os dados referentes as variáveis biométricas avaliadas aos 227 DAP. Para todas as variáveis estudadas, não ocorreram diferenças significativas entre as plantas provenientes das mudas associadas aos sistemas de iluminação suplementar de LED e o controle. Entretanto, observou-se que os maiores valores para a altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC) e número de perfilhos (NP) foram verificados no sistema V:A 80/20, com valores da ordem de 327,26 cm, 2,73 cm, 8,2, respectivamente. Já para o comprimento do colmo (CC), o maior valor (214,86 cm) foi observado no sistema V:A 90/10. Os maiores valores para altura da planta e diâmetro do colmo constatados por Oliveira et al. (2014), foram 224,67 e 2,65 cm, respectivamente, para cana cortada com 11 meses. As plantas provenientes de mudas submetidas ao sistema de iluminação suplementar V:A 70/30 foram as que apresentaram os menores valores de AP (289,26 cm), CC (183,80 cm) e DC (2,50 cm). Quanto ao número de perfilhos, as pequenas diferenças encontradas podem ser atribuídas ao manejo aplicado à cultura no campo, bem como as condições edafoclimáticas (ARAÚJO et al., 2017).

Kim et al. (2004) ressaltam que é provável que ocorram adaptações morfológicas ou fisiológicas nas folhas ao serem expostas a diferentes tipos de iluminação ao longo do crescimento, tais adaptações confundem a interpretação dos efeitos espectrais isolados.

Os efeitos que cada comprimento de onda específico provoca no desenvolvimento da cana-de-açúcar, assim como sua interação com outras variáveis meteorológicas, são complexos e variam conforme o ambiente de cultivo, estágio de desenvolvimento e variedade.

Tabela 3. Valores médios das variáveis biométricas da planta: altura da planta (AP), comprimento do colmo (CC), diâmetro do colmo (DC) e número de perfilhos (NP) aos 227 DAP

| | 227 DAP | | | |
|-----------|----------|----------|---------|-------|
| | AP (cm) | CC (cm) | DC (cm) | NP |
| V:A 80/20 | 327,26 a | 214,46 a | 2,73 a | 8,2 a |
| V:A 90/10 | 316,66 a | 214,86 a | 2,60 a | 7,5 a |
| V:A 70/30 | 289,26 a | 183,80 a | 2,50 a | 7,2 a |
| controle | 299,33 a | 191,46 a | 2,55 a | 6,9 a |
| CV (%) | 9,33 | 15,57 | 5,94 | 20,14 |

Médias seguidas das mesmas letras nas mesmas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Embora as plantas não tenham apresentado diferenças significativas para as variáveis biométricas aos 227 DAP, os resultados indicam que o sistema de iluminação suplementar V:A 80/20, que apresentou maior relação com as variáveis biométricas na fase de aclimatação, também proporcionou plantas de maior vigor. Oliveira et al. (2014) em pesquisa com diferentes cultivares de cana-de-açúcar, concluíram que as variáveis biométricas altura e diâmetro da planta foram as que mais influenciaram o cálculo da produtividade (TCH, t ha⁻¹). Para Lin et al. (2013) os rendimentos e a qualidade das plantas são resultado das interações de vários fatores ambientais sob os quais as plantas são cultivadas.

4. Conclusões

Os sistemas de iluminação suplementar V:A 80/20 e V:A 90/10 proporcionaram plantas de maior porte e com maior perfilhamento, porém sem respostas significativas para as variáveis biométricas.

Entre os sistemas, o V:A 70/30 apresentou as menores médias para as variáveis biométricas altura da planta, comprimento do colmo e diâmetro do colmo, aos 227 dias após o plantio.

As respostas biométricas das mudas ao final da fase de aclimatação, pouco refletiram no stand final de plantas.

5. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, M. L. D.; SANGOI, L.; TRENTIN, P. S.; GÁLIO, J. Cultivares de trigo respondem diferentemente à qualidade da luz quanto à emissão de afixos e acumulação de massa seca. *Ciência Rural*, v. 32, n. 3, p. 377-383, 2002.

ARAÚJO, R. M.; OLIVEIRA, R. A.; CUADRA, S. V.; ALMEIDA, I. R.; WEBER, H. Condições agrometeorológicas para perfilhamento máximo da cultura de cana-de-açúcar em dois ambientes distintos de produção. *Agrometeoros*, v. 25, n. 1, 2017.

BRUNINI, R. G.; TURCO, J. E. P. Crescimento da cana-de-açúcar (*Sacharum ssp L.*) em diferentes cenários produtivos de exposições e declividades. *Ambiência*, v. 12, n. 3, p. 841-849, 2016.

CARDOZO, N. P.; SENTELHAS, P. C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. *Scientia Agricola*, v. 70, n. 6, p. 449-456, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar, v. 2, safra 2017/2018, n. 4. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_08_09_08_38_cana_deze mbro_novo.pdf> Acesso em: 12/01/2018.

CRISTOFOLETTI JUNIOR, S. C. Fisiologia da emergência e perfilhamento em minitoletes de variedades de cana. 2012, 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

ELIA, P. Estabelecimento e desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação. 2016. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; SOUZA, R. C.; ARAÚJO NETO, R. A. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. 322-328, 2014.

FERREIRA, L. T.; ARAÚJO SILVA, M. M.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. Using LED lighting in somatic embryogenesis and micropropagation of an elite sugarcane variety and its effect on redox metabolism during acclimatization. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, v. 128, n. 1, p. 211-221, 2017.

GAZOLA, T.; CIPOLA FILHO, M. L.; FRANCO JÚNIOR, N. C. Avaliação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar provenientes de substratos submetidos a adubação química e orgânica. *Científica*, v. 45, n. 3, p. 300-306, 2017.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O. RODRIGUES, J. D. Fisiologia do desenvolvimento de estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia*, v. 3, p.169-186. 2010.

KIM, H. H.; GOINS, G. D.; WHEELER, R. M.; SAGER, J. C. Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities. *Annals of Botany*, v. 94, n. 5, p. 691–697, 2004.

LIN, K. H.; HUANG, M. Y.; HUANG, W. D.; HSU, M. H.; YANG, Z. W.; YANG, C. M. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, v. 150, p. 86-91, 2013.

MARAFON, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros). Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf. Acesso em: 15 fev, 2018.

MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J. Agrometeorologia da cana-de-açúcar. In: INMET. (Org.). Agrometeorologia dos cultivos - Levantamento Sistemático de Informações Agrometeorológicas e Fitotécnicas. INMET, v. 1, p.109-130. 2009.

MENESES, T. N.; RESENDE, R. S. Influência de épocas de plantio na eficiência do uso da água da chuva em cultivo irrigado de cana-de-açúcar. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, v. 1, n. 1, p. 291-305, 2016.

OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026, OECD Publishing, Paris, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-en> Acesso em: 06/02/2018.

OLIVEIRA, E. C. A; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n.3, p. 579-588, 2011.

OLIVEIRA, M. P.; RAGGHIANI, K. C.; HOMEM, B. F. M.; MARQUES, M. O. Cana-de-açúcar: análise biométrica de cultivares, ano agrícola 2012/2013. *Ciência & Tecnologia*, v. 6, n. 1, 2014.

ROCHA, P. S. G. D.; OLIVEIRA, R. P. D.; SCIVITTARO, W. B.; SANTOS, U. L. D. Diodos emissores de luz e concentrações de BAP na multiplicação in vitro de morangueiro. *Ciência Rural*, v. 40, n. 9, p. 1922-1928, 2010.

ROCHA, P. S. G.; OLIVEIRA, R. P.; SCIVITTARO, W. B. Sugarcane micropropagation using light emitting diodes and adjustment in growth-medium sucrose concentration. *Ciência. Rural*, v. 43, n. 7, p. 1168-1173, 2013.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed., Brasília, 2013. 353p.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. Balanços hídricos climatológicos do Brasil – 500 - balanço hídricos de localidades brasileiros. Piracicaba: ESALQ, 1 CD-ROM, 1999.

SILVA, E. M.; DA COSTA, G. G. S.; ANDRADE, A. F.; FERREIRA, H. C. P.; STEINER, F. Produção de mudas de alface, pepino e pimentão em função da qualidade do espectro luminoso. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 15, n. 4, p. 446-452, 2016.

SILVA, M. M.; OLIVEIRA, A. L.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; GOUVEIA NETO, A. S.; CAMARA, T. J.; WILLADINO, L. G. Effect of blue/red LED light combination on growth and morphogenesis of *saccharum officinarum* plantlets in vitro. In SPIE BiOS, International Society for Optics and Photonics, v. 89471, 2014.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C. D.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. D. S.; OLIVEIRA, E. C. A. D.; ROCHA, A. T. D. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 1, p. 73-81, 2015.

SOUZA, G. S.; CASTRO, E. M.; SOARES, Â. M.; SANTOS, A. R., ALVES, E. Photosynthetic pigments content, photosynthesis rate and chloroplast structure in young plants of *Mikania laevigata* Schultz Bip. ex Baker grown under colored nets. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, supl. 1, p. 1843-1854, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diodos emissores de luz (LED) podem ser utilizados como fonte de iluminação suplementar no crescimento e desenvolvimento de mudas de cana-de-açúcar em ambiente protegido. O seu uso permitiu um incremento de RFA no interior do ambiente protegido. Porém, devido a fase de aclimação ser curta, e de certa forma, as mudas apresentarem uma maior dependência das reservas do mini rebolo nesse período, os efeitos tenham sido menos evidentes.

A qualidade da radiação pode influenciar o crescimento e desenvolvimento das mudas, bem como suas respostas fotossintéticas. No entanto, são necessários mais estudos sobre os efeitos que cada comprimento de onda específico provoca na fisiologia da cana-de-açúcar, assim como sua interação com outras variáveis micrometeorológicas, visto que, esses efeitos variam conforme os estádios de desenvolvimento da planta, a variedade e as condições de tempo e clima que são cultivadas. Sugere-se que pesquisas, com diferentes intensidades de iluminação, em diferentes períodos do ano.

Os resultados do presente estudo indicam que ao serem expostas as condições edafoclimáticas as mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar foram pouco afetadas pela iluminação suplementar a que foram expostas, entretanto, ao fim do ciclo, as plantas submetidas aos sistemas com maior proporção do comprimento de onda vermelho apresentaram as maiores médias para as variáveis biométricas.

Acredita-se que os ganhos promovidos pela iluminação suplementar na aclimação possam favorecer o estabelecimento das mudas no campo e resultar em plantas mais produtivas ao final do ciclo de cultivo.

No entanto, para maior eficiência, faz-se necessário mais estudos a respeito das respostas das plantas, visto que estas respostas variam conforme a espécie e a interação com o ambiente que são cultivadas.