

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

JOSÉ JAIRO FLORENTINO CORDEIRO JUNIOR

MALHAS FOTOSSELETIVAS NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

RECIFE-PE

2018

JOSÉ JAIRO FLORENTINO CORDEIRO JUNIOR

MALHAS FOTOSSELETIVAS NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de *Doutor* em engenharia agrícola: Área de concentração: Manejo de Atividades Agrícolas em Ambientes Protegidos.

Orientadora: Prof.(a) Dra. Cristiane Guiselini

RECIFE-PE

2018

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

C794m Cordeiro Junior, José Jairo Florentino
Malhas fotosselativas na produção de cana-de-açúcar /
José
Jairo Florentino Cordeiro Junior. – 2018.
119 f. : il.

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

1. Ambiente protegido 2. Construções rurais e ambiência
3. Espectro de radiação solar 4. Malha de sombreamento
5. *Saccharum officinarum* I. Guiselini, Cristiane, orient.
II. Pandorfi, Héilton, coorient. III. Título

CDD 631

JOSÉ JAIRO FLORENTINO CORDEIRO JUNIOR

MALHAS FOTOSSELETIVAS NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de *Doutor* em engenharia agrícola: Área de concentração: Manejo de Atividades Agrícolas em Ambientes Protegidos.

Aprovado em: __/__/__/

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Guiselini
Departamento de Engenharia Agrícola
Universidade Federal Rural De Pernambuco

Prof^º. Dr. Héilton Pandorfi
Departamento de Engenharia Agrícola
Universidade Federal Rural De Pernambuco

Prof^º. Dr. Dimas Menezes
Departamento de Agronomia
Universidade Federal Rural De Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Lilia Gomes Willadino
Departamento de Biologia
Universidade Federal Rural De Pernambuco

Prof^º. Dr^º. José Antônio Delfino Barbosa Filho
Departamento de Engenharia agrícola
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus.
Aos meus pais, familiares e amigos.
Ao meu vô e tios (“in memoriam”).

Agradecimentos

À capes, pelo apoio financeiro e manutenção da bolsa de estudos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso e à coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

À Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC – UFRPE) pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa no campo.

À todos que fazem parte do grupo de pesquisa em ambiência (GPESA) pelos conhecimentos passados e apoio no desenvolvimento da pesquisa, visto que sem eles não seria possível a conclusão desta etapa.

À Prof. Dra. Cristiane Guiselini, pela excelente orientação.

Ao Prof. Dr. Héilton Pandorfi, pela excelente coorientação.

Ao Prof. Alex Souza Moraes pelas contribuições na etapa de análise de dados.

Aos professores participantes da banca examinadora.

Aos amigos Luiz Antônio de Almeida Neto, Sávio Duarte Lopes Cavalcanti, Pedro Henrique Dias Batista, Miguel Julio Machado Guimarães, Aline Juliana da Silva Omar, Nicolay Farias Gomes, Janice Maria Coelho Barnabé e Gilvan Ramos da Silva Júnior pela amizade e apoio no decorrer desta jornada.

Aos tios, avós e avô pelo carinho e aprendizado fornecido.

Aos amigos que fiz durante este período e aos que embora distantes sempre se fizeram presentes.

À Solpack Ltda, pela disponibilidade e fornecimento das malhas de sombreamento testadas na pesquisa.

Aos professores da Pós-graduação em Engenharia Agrícola pelo conhecimento transmitido e pelos conselhos dados.

À Rayanne Souza pelo companheirismo, apoio, incentivo, ajuda, luta e parceira em todos os momentos desta longa jornada, uma vez que seria muito mais árdua sem a sua presença.

Aos meus pais, meu irmão e minha irmã por serem meu chão e as mãos que me guiaram nessa longa jornada.

“Eu não tenho ídolos. Tenho admiração por
trabalho, dedicação e competência.”
(*Ayrton Senna*)

MALHAS FOTOSSELETIVAS NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO: O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e destaca-se mundialmente na produção de etanol. A propagação é do tipo vegetativa, e a utilização da técnica de produção de mudas pré-brotadas tem elevado a sanidade e qualidade do material para propagação. Objetivou-se caracterizar malhas de sombreamento fotosselativas quanto à variação dos elementos micrometeorológicos, com ênfase na produção de mudas e os reflexos na produção em campo. A primeira etapa da pesquisa foi realizada em ambiente protegido na UFRPE, (Recife-PE), a segunda etapa em condições de campo na estação experimental de cana-de-açúcar de Carpina, (Carpina-PE). As mudas do cultivar RB92579 foram obtidas pela técnica de produção de mudas pré-brotadas. Os ambientes protegidos foram divididos em quatro módulos cobertos com: PEBD antiUV + malha ultranet vermelha Solpack® com 35% de sombreamento, PEBD antiUV + malha branca Solpack® 50% de sombreamento, PEBD antiUV + malha freshnet Solpack® 50% de sombreamento e PEBD antiUV sem malha de sombreamento. Foram registrados os dados micrometeorológicos nos módulos internos e no ambiente externo, o espectro de radiação solar em cada módulo e as variáveis biométricas e fisiológicas das plantas. O delineamento experimental utilizado para a etapa 1, em ambiente protegido, foi inteiramente casualizado, já na etapa 2 o experimento foi instalado no campo em delineamento em blocos ao acaso, nas duas etapas foi utilizada a análise multivariada de componentes principais baseada na matriz de correlação entre todas as variáveis para analisar a associação entre os módulos de cultivo, as variáveis micrometeorológicas, biométricas e fisiológicas da cultura. A temperatura do ar do ambiente protegido foi 8 % maior em relação ao ambiente externo. No módulo com PEBD antiUV + freshnet observou-se transmitância de 24,3 % da radiação solar global, 37 % de radiação fotossinteticamente ativa e 27 % de radiação solar do espectro do vermelho (625 – 700 nm). PEBD antiUV + branca e PEBD antiUV + ultranet vermelha transmitiram 18 % da radiação solar no espectro do azul (440-485 nm). Nos módulos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + branca verificou-se maior relação do espectro de luz azul/vermelho. A malha branca no módulo PEBD antiUV + branca proporcionou 78,9 % de brotação das gemas. Após o período de brotação, temperatura do substrato acima de 30,2 °C ocasionou maior mortalidade de mudas. Dos 13 aos 27 dias após o plantio o uso de malha de sombreamento nos módulos de cultivo induziu o maior crescimento e

desenvolvimento de mudas. O módulo com PEBD + freshnet promoveu menor mortalidade de mudas em ambiente protegido, maior teor de clorofila e mudas de maior qualidade. Aos 305 dias após o transplântio, as plantas provenientes dos módulos PEBD antiUV + freshnet e PEBD antiUV + ultranet vermelha apresentaram maior acúmulo de carboidratos, sacarose e produção de 130 e 145 t ha⁻¹, respectivamente. Diante disto, o módulo com PEBD antiUV + branca favoreceu a brotação das mudas e o módulo com PEBD antiUV + freshnet proporcionou maior qualidade e menor mortalidade de mudas. Mudas provenientes de ambientes cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + freshnet apresentaram maiores atributos agronômicos ao final do cultivo em campo.

Palavras-chaves: ambiente protegido; construções rurais e ambiência; espectro de radiação solar; malha de sombreamento; *Saccharum officinarum*.

PHOTOSELECTIVE SCREENS IN THE PRODUCTION OF SUGAR CANE

ABSTRACT: Brazil is the world's largest producer of sugarcane and stands out in the world for the production of ethanol. The propagation is of the vegetative type, and the use of the technique of production of pre-sprouted seedlings has raised the sanity and quality of the material for propagation. The objective was to characterize photosensitive shading screens regarding the variation of the micrometeorological elements, with emphasis on the production of seedlings and the reflexes in the field production. The first stage of the research was carried out in a protected environment at the UFRPE, (Recife-PE), the second stage under field conditions at the Carpina-PE experimental station. The seedlings of cultivar RB92579 were obtained by the technique of production of pre-sprouted seedlings. The protected environments were divided in four modules covered with: PEBD antiUV + red ultranet screen Solpack[®] with 35% shading, PEBD antiUV + white screen Solpack[®] 50% shading, PEBD antiUV + freshnet screen Solpack[®] 50% shading e PEBD antiUV without shading screen. Micrometeorological data were recorded in the internal modules and in the external environment, the solar radiation spectrum in each module and the biometric and physiological variables of the plants. The experimental design was completely randomized, and in step 2, the experiment was installed in the field in a randomized block design. In the two stages, the multivariate analysis of main components was used based on the correlation matrix among all the variables to analyze the association between the cultivation modules, the micrometeorological, biometric and physiological variables of the crop. The air temperature of the protected environment was 8% higher in relation to the external environment. In the module with PEBD antiUV + freshnet, transmittance of 24.3% of global solar radiation, 37% of photosynthetically active radiation and 27% of solar radiation of the red spectrum (625-700 nm) was observed. PEBD antiUV + white e PEBD antiUV + red ultranet transmitted 18% of the solar radiation in the blue spectrum (440-485 nm). In the modules with PEBD antiUV + red ultranet e PEBD antiUV + white there was a greater ratio of the blue/red light spectrum. The PEBD antiUV + white module provided 78.9% seedling sprouting. After the sprouting period, substrate temperature above 30.2 °C caused higher seedling mortality. From 13 to 27 days after planting the use of shading screen in the cultivation modules induced the greatest growth and development of seedlings. The module with PEBD + freshnet promoted lower mortality of seedlings in protected environment, higher chlorophyll content and higher quality seedlings. At 305 days after transplanting, the

plants from the PEBD antiUV + freshnet e PEBD antiUV + red ultranet showed higher accumulation of carbohydrates, sucrose and production of 130 and 145 t ha⁻¹, respectively. Therefore, the module with PEBD antiUV + white favored seedling sprouting and the module PEBD antiUV + freshnet provided higher quality and lower mortality of seedlings. Seedlings from environments covered with PEBD antiUV + red ultranet e PEBD antiUV + freshnet presented higher agronomic attributes at the end of field cultivation.

Keywords: protected environment; rural constructions and ambience; solar radiation spectrum; shading mesh; *Saccharum officinarum*.

Lista de Figuras

- Figura 1. Acúmulo de radiação solar de variedades de cana planta e cana soca lançadas desde a década de 1920. (Adaptado de Acreche, 2017) 30
- Figura 2. Correlação entre a produtividade da cana de açúcar (TPH) e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAINT) no cultivo de variedades de cana de açúcar entre 01/02/2008 e 01/02/2009. (Adaptado de Ferreira-Junior et al., 2012) 31
- Figura 3. Teores de açúcares solúveis totais e amido, em matéria seca de folha e de raízes de mudas de cafeeiros cultivadas sob diferentes malhas de sombreamento. Barras seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade (adaptado de Henrique et al., 2011). 39
- Figura 4. A- Fotossíntese líquida em plantas C3 e C4 em função da intensidade luminosa (Larcher, 2000, modificado por Kerbauy, 2008); B- Eficiência quântica de plantas C3 e C3 em função da temperatura foliar. (Leegood, 1993, modificado por Kerbauy, 2008). 49
- Figura 5. Localização da unidade experimental. Recife, 2018. 50
- Figura 6. Dimensões da bandeja e da célula para produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Fonte: nutriplan. Recife, 2018. 51
- Figura 7. Dimensões da bancada e sistema de irrigação por capilaridade. Recife, 2018. 52
- Figura 8. Posições das malhas fotosseletivas nos primeiros 12 DAP (A, 0,15 m) e durante os 28 dias seguintes (B, 1,00 m). PEBD antiUV + malha ultranet vermelha Solpack® com 35% de sombreamento (T1), PEBD antiUV + malha branca Solpack® com 50% de sombreamento (T2), PEBD antiUV + malha termorrefletora freshnet Solpack® com 50 % de sombreamento (T3) e PEBD antiUV + sem malha de sombreamento(T4). Recife, 2018. 53
- Figura 9. Esquema de distribuição dos tratamentos nas bancadas. T1- PEBD antiUV + malha ultranet vermelha Solpack® com 35 % de sombreamento, T2- PEBD antiUV + malha branca Solpack® com 50 % de sombreamento, T3- PEBD antiUV + malha freshnet Solpack® com 50 % de sombreamento e T4- PEBD antiUV sem malha de sombreamento. Recife, 2018. 59
- Figura 10. Caixa de aclimatização de mudas de cana-de-açúcar a pleno sol. Recife, 2018. 60
- Figura 11. Parcela experimental de campo com mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Recife, 2018. 61
- Figura 12. Croqui da área experimental, PEBD antiUV + malha ultranet vermelha Solpack® com 35 % de sombreamento (T1), sob PEBD antiUV + malha branca Solpack® 50 % de sombreamento (T2), sob PEBD antiUV + malha termorrefletora freshnet Solpack® 50 % de sombreamento (T3) e PEBD antiUV sem malha de sombreamento (T4). Recife, 2018. 63
- Figura 13. Radiação solar global (R_g ; MJ m⁻² dia⁻¹) no ambiente externo e nos módulos cobertos com: A- PEBD antiUV+ ultranet vermelha; B- PEBD antiUV+ branca; C- PEBD antiUV+ freshnet; e D- PEBD antiUV. Recife, 2018. 65
- Figura 14. Relação entre a radiação solar global (R_g ; W m⁻²) nos módulos estudados e no ambiente externo e entre os módulos PEBD antiUV + malha de sombreamento e o módulo coberto com PEBD antiUV. A- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha; B- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + branca; C- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + freshnet; D- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV; E- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo

- PEBD antiUV + ultranet vermelha; F- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + branca; G- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + freshnet. Recife, 2018. 67
- Figura 15. Radiação fotossinteticamente ativa ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) nos módulos cobertos com: A- PEBD antiUV+ ultranet vermelha; B- PEBD antiUV+ branca; C- PEBD antiUV+ freshnet; e D- PEBD antiUV. Recife, 2018. 68
- Figura 16. Participação percentual da radiação solar global (R_g) em radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e radiação infravermelho próximo e ultra-violeta (IVP+UV) nos módulos cobertos com: A- PEBD antiUV+ ultranet vermelha; B- PEBD antiUV+ branca; C- PEBD antiUV+ freshnet; e D- PEBD antiUV. Recife, 2018. 69
- Figura 17. Distribuição da energia espectral da radiação solar nos módulos com PEBD antiUV + ultranet vermelha; PEBD antiUV + branca; PEBD antiUV + freshnet; e PEBD antiUV. Recife, 2018. 70
- Figura 18. Porcentagem de cada espectro de radiação solar nos módulos de cultivo: A- PEBD antiUV + ultranet vermelha; B- PEBD antiUV + branca; C- PEBD antiUV + freshnet; D- PEBD antiUV. Recife, 2018. 71
- Figura 19. Temperatura do ar (T_{ar} ; °C) no ambiente externo, nos módulos cobertos com PEBD antiUV+ ultranet vermelha, PEBD antiUV+ branca, PEBD antiUV+ freshnet, PEBD antiUV e limites inferior (LI T_{ar}) e superior (LS T_{ar}) da T_{ar} para crescimento da cana-de-açúcar. Recife, 2018. 73
- Figura 20. Relação entre a Temperatura do ar (T_{ar} ; °C) nos módulos estudados e no ambiente externo e entre os módulos PEBD antiUV + malha de sombreamento e o módulo coberto com PEBD antiUV. A- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha; B- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + branca; C- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + freshnet; D- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV; E- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha; F- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + branca; G- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + freshnet. Recife, 2018. 75
- Figura 21. Temperatura do ar (T_{ar} ; °C) no ambiente protegido, temperatura do substrato (T_{subs} ; °C) nos módulos cobertos com: PEBD antiUV+ ultranet vermelha; PEBD antiUV+ branca; PEBD antiUV+ freshnet; PEBD antiUV e limites inferior (LI T_{subs}) e superior (LS T_{subs}) da T_{subs} para crescimento e brotação da cana-de-açúcar. Recife, 2018. 76
- Figura 22. Relação entre a temperatura do substrato (T_{subs} ; °C) nos módulos estudados e a temperatura do ar (T_{ar} ; °C) do ambiente protegido. A- relação entre T_{ar} e T_{subs} no módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha; B- relação entre T_{ar} e T_{subs} no módulo PEBD antiUV + branca; C- relação entre T_{ar} e T_{subs} no módulo PEBD antiUV + freshnet; D- relação entre T_{ar} e T_{subs} no módulo PEBD antiUV. Recife, 2018. 77
- Figura 23. Variação da Umidade Relativa do ar (UR, %) e da temperatura do ar (T_{ar} , °C) médias diárias no ambiente interno e no ambiente externo. Recife, 2018. 78
- Figura 24. Relação entre a umidade relativa do ar no ambiente interno (UR(int); °C) e no ambiente externo ($T_{ar}(ext)$; °C). Recife, 2018. 79
- Figura 25. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs o componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis de brotação (B; pesos): Primeira contagem de emergência (PCE); Índice de velocidade de Brotação (IVB); Porcentagem de brotação (%B); Temperatura do substrato (T_{subs}); Temperatura do ar (T_{ar}); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (R_g); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) até os 12 DAP. Recife, 2018. 81

Figura 26. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) dos 13 aos 19 DAP. Recife, 2018. 84

Figura 27. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) dos 20 aos 26 DAP. Recife, 2018. 86

Figura 28. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) dos 27 aos 33 DAP. Recife, 2018. 88

Figura 29. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) dos 34 aos 40 DAP. Recife, 2018. 90

Figura 30. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Mortalidade de plantas (MT); Teor Relativo de água (TRA); Condutância estomática (gs); Volume da Raiz (VR); Comprimento da Raiz (CR); Massa Seca da Parte Aérea (MSPA); Massa Seca da Raiz (MSR); Teor de Clorofila b (Chl b), Teor de Clorofila a (Chl a), Relação Clorofila a/b (Clh a/b); Teor de Carboidratos Solúveis Totais (C.S.T.); Teor de Sacarose (SAC); Índice de Qualidade de Mudanças de Dickson (IQD) aos 40 DAP; Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade Relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) acumuladas durante toda etapa 1. Recife, 2018. 93

Figura 31. Radiação solar global (Rg; MJ m⁻² dia⁻¹) e Precipitação (P; mm) durante o ciclo de produção de plantas de cana-de-açúcar. Recife, 2018. 95

Figura 32. Temperatura média do ar (Tar; °C) e Velocidade do vento (vv; m s⁻¹) durante o ciclo de produção de plantas de cana-de-açúcar. Recife, 2018. 96

Figura 33. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Mortalidade de plantas (MT); Diâmetro do Colmo (DC); Comprimento do Colmo (CC); Altura da Planta (ALT); Número de Nós (NNÓS); Número de Perfilhos (NPF); Teor de Clorofila b (Chl b), Teor de Clorofila a (Chl a), Relação Clorofila a/b (Chl a/b); Teor de carotenóides (CAROT); Teor de Carboidratos Solúveis Totais (C.S.T.); Teor de Sacarose (SAC); Toneladas de Cana por Hectare (TCH) aos 305 DATP. Recife, 2018. 99

Figura 34. Tonelada de cana por hectare (TCH, t ha⁻¹) de plantas provenientes de MPB de cana-de-açúcar cultivadas sob diferentes módulos de cultivo. 100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	Objetivos	20
3	Revisão bibliográfica	21
3.1	Cana-de-açúcar	21
3.1.1	Origem e dispersão	21
3.1.2	Importância Econômica	21
3.1.3	Propagação	23
3.2	Produção de mudas em ambiente protegido	24
3.3	Temperatura do ar	26
3.4	Umidade Relativa do ar	27
3.5	Radiação Solar	27
3.5.1	Efeitos da “quantidade” de radiação solar nas plantas C4	29
3.5.2	Efeitos da “Qualidade” de radiação solar nas plantas C4	32
3.6	Malha Fotosseletiva	36
3.6.1	Efeito da malha fotosseletiva no espectro de luz solar	37
3.6.2	Efeito das malhas fotosseletivas na produção de mudas	38
3.7	Fotossíntese	41
3.8	Espectros de luz na fisiologia de plantas	42
3.8.1	Espectros de luz nos pigmentos fotossintéticos	43
3.8.2	Influência dos espectros de luz na condutância estomática	45
3.9	Caracterização das plantas C4	47
4	Metodologia	50
4.1	Etapa 1: Produção de mudas em ambiente protegido	50
4.1.1	Registros das variáveis biométricas e fisiológicas	54
4.1.2	Delineamento experimental e análise estatística	58

4.2	Etapa 2: Rustificação e Transplântio	60
4.2.1	Registros das variáveis biométricas e fisiológicas	61
4.2.2	Delineamento experimental e análise estatística	62
5	Resultados e discussão	63
5.1	Etapa 1	63
5.1.1	Variáveis micrometeorológicas	63
5.1.2	Análise multivariada	80
5.2	Etapa 2	95
5.2.1	Variáveis meteorológicas	95
5.2.2	Biométricas e fisiológicas (305 DATP)	96
6	Conclusões	100
7	Referências bibliográficas	101

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e China. É também líder na exportação e responsável por mais de 50% dos produtos derivados que são comercializados no mundo, principalmente açúcar e etanol. A cultura possui ainda um papel ambiental muito importante, uma vez que o etanol é uma das melhores alternativas para redução de gases causadores do efeito estufa, pois reduz em cerca de 70% a emissão de CO₂ em relação à gasolina. A medida que aumenta a exportação e consumo de derivados da cana-de-açúcar, aumenta também a exigência por novas tecnologias de cultivo que proporcionem maior rentabilidade e qualidade de produção (Conab, 2015).

Uma dessas tecnologias diz respeito ao método de propagação da cana-de-açúcar, em que, tradicionalmente, a mesma estrutura utilizada para armazenar açúcares (os colmos) é também utilizada para o plantio e renovação de novas áreas. Diante disso, o volume de colmos necessários para o plantio convencional atinge níveis superiores a 20 t ha⁻¹, resultado do maior adensamento (24 a 60 gemas m⁻¹) no plantio para suprir falhas no canavial, o que revela um volume excessivo de colmos que poderiam ser destinados ao processamento industrial e representa problemas no transporte, movimentação e armazenagem de sementes de cana-de-açúcar. Uma alternativa para reduzir o volume de material necessário e elevar a qualidade da cana-planta é a utilização de mudas pré-brotadas (MPB), tecnologia que permite melhor controle da qualidade, do vigor e da fitossanidade das mudas por utilizar menor volume de colmos (2 t ha⁻¹), já que emprega minirrebolos de 3 cm de comprimento para viabilizar a gema individualizada no tubete. A MPB promove dessa forma a redução de 20 para 2 t ha⁻¹ de colmos de cana-de-açúcar, o que torna o processo mais eficiente do que o plantio convencional (Landell et al., 2013).

Além do método de propagação adotado, o desempenho vegetativo da cana-de-açúcar é altamente dependente das condições climáticas da região, pois variações na temperatura do ar, disponibilidade hídrica do solo e intensidade luminosa exercem grande influência na viabilidade da produção de mudas (Silva et al., 2010).

Dessa forma, para se obter maior viabilidade técnico-econômica na produção destas mudas, é essencial o manejo dos elementos micrometeorológicos, visto que a radiação solar com diferentes comprimentos de onda influi processos fisiológicos distintos nas plantas. A faixa do espectro azul, que apresenta comprimento de onda entre 450 e 510 nm e é característica por apresentar menor comprimento de onda associado a uma maior frequência de radiação que a faixa do espectro vermelho, por este motivo é mais energética. Na faixa espectral do vermelho,

comprimento de onda entre 625 à 740 nm, é tida como a zona de máxima absorção pela clorofila, a zona que proporciona a máxima fotossíntese (Floss, 2004).

Então, o cultivo de mudas em ambiente protegido é uma alternativa para possibilitar o controle das condições micrometeorológicas, como temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento, que deve ser uma atividade bem planejada para atingir a alta eficiência na produção. Estes ambientes possuem uma estrutura que permite a passagem de luz, que é essencial para a fotossíntese e controle dos elementos micrometeorológicos, dessa forma permite a realização do cultivo em épocas em que este não seria recomendada (Sanchez & Figueiredo, 2011). Diante disto, Holcman & Sentelhas (2012) relataram que a cor e o tipo das malhas de sombreamento utilizadas em ambientes protegidos afetam os elementos micrometeorológicos, principalmente a intensidade e qualidade de radiação.

2 Objetivos

Objetivou-se caracterizar malhas de sombreamento fotosseletivas quanto à variação dos elementos micrometeorológicos, com ênfase na produção de mudas e os reflexos na produção em campo.

Os objetivos específicos foram:

Verificar a disponibilidade dos elementos micrometeorológicos para as mudas de cana-de-açúcar submetidas a diferentes malhas fotosseletivas;

Observar o espectro de radiação presente sob cada malha fotosseletiva;

Averiguar o efeito direto ou indireto da radiação solar na brotação de mudas pré-brotadas de cana de açúcar;

Observar as alterações morfofisiológicas proporcionadas pelos espectros de radiação solar;

Selecionar uma ou mais malhas fotosseletivas que proporcione maior produção de pigmentos fotossintéticos, maior teor de carboidratos e sacarose;

Observar os reflexos do uso da malha no ambiente protegido na produção em campo aberto.

3 Revisão bibliográfica

3.1 Cana-de-açúcar

3.1.1 Origem e dispersão

A cana-de-açúcar é uma planta monocotiledônea, alógama e perene, provavelmente originária da Nova-Guiné, de onde foi levada para o Sul e para a Ásia, utilizada inicialmente na forma de xarope. O primeiro registro de açúcar em sua forma foi datado no ano 500 na Pérsia. É uma planta típica de climas tropicais e subtropicais, que não correspondeu às tentativas para cultivá-la na Europa. No Brasil há indícios que o cultivo da cana-de-açúcar seja anterior a época do descobrimento, mas seu desenvolvimento ocorreu posteriormente, com a criação dos engenhos e plantações de mudas trazidas pelos portugueses (Mozambani et al. 2006).

Foi descrita inicialmente por Linneu, em 1753, que a classificou como *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*. Depois de Linneu, várias outras formas de classificação foram apresentadas.

Atualmente as plantas cultivadas são poliploides, com cerca de 100 a 120 cromossomos, o que é decorrente de cruzamentos interespecíficos entre *Saccharum officinarum*, *Saccharum sinense*, *Saccharum Barbieri*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum robustum* e *Saccharum edule* (Gupta et al., 2010).

3.1.2 Importância Econômica

Na década de 70 o setor canavieiro sofreu grande impulso com a crise no petróleo e da agroindústria açucareira, fato que promoveu o surgimento do Proálcool. A partir daí o etanol passou a fazer parte da matriz energética brasileira, inserido na indústria automobilística, o que motivou o crescimento extraordinário do setor. As décadas de 80 e 90 ficaram marcadas pela redução no ritmo de produção, e a instabilidade de oferta e consumo de etanol colaboraram para redução do crédito para veículo movido a etanol. Desse modo, neste período, 90% do total de veículos vendidos eram movidos a gasolina (Shikida, 2014).

Em 2003, a indústria canavieira ficou marcada pela recuperação considerável em relação aos anos anteriores, a retomada do etanol com o surgimento dos automóveis “flex-fuel” impulsionou o setor. Um importante fator que demonstra esta retomada é a taxa de crescimento média da produção de etanol (6,9%) e da produção de açúcar (5,1%), revertendo a tendência da

soberania do açúcar diante do etanol. No entanto, nos últimos anos a agroindústria canavieira sofreu considerável redução devido à falta de planejamento do setor para garantir a segurança energética e alimentar, principalmente devido ao aumento dos custos de produção (70%). Com a descoberta do pré-sal os combustíveis fósseis ganharam mais espaço, o que coloca o etanol em plano secundário, soma-se a isso o controle artificial dos preços da gasolina para manter o controle da inflação. Dessa forma, o etanol fica mais vulnerável e menos competitivo que a gasolina, portanto, a indústria canavieira necessita de um aporte tecnológico que proporcione renovar e manter o canavial com maior produtividade e menor custo (Shikida, 2014).

Além da produção e consumo de etanol, a cultura canavieira origina outra commodity de grande importância: a produção e consumo do açúcar. A primeira expõe a questão da segurança energética e a segunda à segurança alimentar, ambas estão desta forma relacionadas com as condições ambientais presentes (Neves et al., 2010).

Em todo o mundo a produção de cana-de-açúcar é superior a 1700 milhões de toneladas em 24 milhões de hectares. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com 735 milhões de toneladas, seguido pela Índia com 352 milhões de toneladas e a China vem como terceiro maior produtor com 126 milhões de toneladas (Faostat, 2016).

Na safra 2014/2015 plantou-se aproximadamente 9.004,5 mil hectares com cana-de-açúcar, que traduz um aumento na produção em torno de 2,20% em relação à safra 2013/2014, com uma produção estimada de 642.095,2 mil toneladas. Este volume é 2,5 % inferior à produção obtida na safra 2013/14, quando foram colhidas 658.822,3 mil toneladas. Esse decréscimo ocorreu devido adversidades climáticas nas lavouras de cana-de-açúcar, onde as precipitações pluviométricas ficaram abaixo do normal desde o final do ano de 2013 e refletiu no desenvolvimento da cultura, tanto na fase de rebrota, quanto no crescimento, o que prejudica o perfilhamento da cultura e o desenvolvimento dos colmos, que reflete diretamente no rendimento de cana-de-açúcar por hectare. No Nordeste brasileiro a produção para safra 2014/2015 foi estimada em 55.561,6 mil toneladas, concentrada nos Estados de Pernambuco e Alagoas (Conab, 2014).

A estimativa da produção em julho de 2015 foi de 703,2 milhões de toneladas, aumento de 3,7% frente ao mesmo período do ano anterior. A área plantada apresentou um crescimento de 5,2%, enquanto a área a ser colhida e o rendimento médio apresentaram crescimento de 2,5 e 1,2%, respectivamente. Os dados foram influenciados por São Paulo, maior produtor nacional, e que deve participar com 52,4% do total a ser colhido pelo país. A safra paulista foi reavaliada pelo GCEA para 368,2 milhões de toneladas, aumento de 7,2% frente ao ano anterior, com

incrementos de 10,4% na área plantada, 5,0% na área a ser colhida e 2,1% no rendimento médio (IBGE, 2015).

Na safra 2015/2016 a produção nacional atingiu cerca de 603,6 milhões de toneladas de cana de açúcar, 30,7 milhões de toneladas de açúcar e 27,6 bilhões de litros de etanol. No ano de 2015, o volume de exportação foi de 1,9 bilhões de litros de etanol e 24 milhões de toneladas de açúcar (União da Indústria de Cana-de-Açúcar, 2016).

3.1.3 Propagação

A cana-de-açúcar é uma planta de reprodução sexuada, mas em escala comercial é multiplicada assexuadamente, por propagação vegetativa. A propagação é geralmente feita por intermédio de colmos, onde estão localizadas as gemas. O volume de colmos necessários para o plantio convencional atinge níveis superiores a 20 t ha^{-1} , resultado do maior adensamento (24 a 60 gemas m^{-1}) no plantio para suprir falhas no canavial, o que revela um gasto excessivo de colmos que poderiam ser destinados à indústria. Na produção de mudas, a brotação das gemas pode ser afetada por fatores intrínsecos, metabolismo da própria planta, como também por fatores extrínsecos, as condições micrometeorológicas (Santos et al., 2013; Alcantara et al., 2014; Manhães et al., 2015).

Devido ao grande destaque do setor no mundo, tem-se buscado diversas respostas para atender à demanda do setor produtivo, dentre eles uma rápida multiplicação. As pesquisas na área de melhoramento são imprescindíveis, uma vez que as variedades depois de algum tempo de reprodução vegetativa perdem o vigor, a produtividade e aumentam a suscetibilidade às principais pragas e doenças (Oliveira et al., 2010). Dentre as técnicas de propagação vegetativa nos últimos anos, têm-se destacado a propagação *in vitro*, nesta, pequenos fragmentos de tecido vegetal vivo, chamados explantes, são isolados de uma planta, desinfetados e cultivados assepticamente por períodos indefinidos em um meio de cultura apropriado para obter uma nova planta idêntica a original, ou seja, realizar uma clonagem vegetal. Estima-se que desde a retirada das matrizes até o plantio das mudas no campo, o processo tem duração de 9 a 12 meses.

Como alternativa, surge a utilização de mudas pré-brotadas (MPB), com duração de 45 a 60 dias, desde a retiradas das matrizes até o plantio das mudas no campo. É uma tecnologia que permite maior controle do vigor e da qualidade fisiológica e sanitária das mudas, além de utilizar menor volume de colmos (2 t ha^{-1}), por empregar minirrebolos de 3 cm de comprimento

para viabilizar a gema individualizada no tubete. A MPB promove dessa forma a redução de 20 para 2 t ha⁻¹ de colmos de cana-de-açúcar, o que torna o processo mais eficiente do que o plantio convencional, que possibilita a produção de mudas em campo, com menor gasto de material vegetal que a propagação convencional (economia de 18 t), menor gasto energético e a produção de mudas com maior qualidade fitossanitária (Landell et al., 2013).

O uso de mudas pré-brotadas permite acelerar o processo de adoção de novas cultivares, reposição de falhas no plantio mecanizado, maior padrão e uniformidade de plantio, maior qualidade fitossanitária das mudas, autenticidade varietal, favorecimento da logística operacional de gestão e potencial de associar redução de custos com aumento de produtividade (Landell et al., 2013).

Sabe-se ainda que o índice de brotação da cana-de-açúcar é uma característica das variedades, em que cada uma apresenta resposta diferenciada de acordo com as condições ambientais, principalmente a luminosidade. Fraga-Júnior (2015) relata que dentre outros fatores a brotação de colmos de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em ambiente protegido é influenciada pela posição das gemas, idade de formação do propágulo, uma vez que as gemas procedentes da porção média inferior e as próximas ao ápice têm em média 6% maior pegamento quando comparado às gemas próximas ao solo, provavelmente devido a maior concentração de hormônios reguladores de crescimento.

3.2 Produção de mudas em ambiente protegido

Em regiões tropicais, o plantio de boa parte das culturas industriais, hortícolas, ornamentais e florestais é realizado via produção de mudas, é uma tecnologia que tem sido muito utilizada por permitir maior controle do vigor, da qualidade fisiológica e sanitária do material propagativo, uso de técnicas de desinfecção do solo, uso de substrato e proteção contra geadas. Com isto, tem-se obtido menores gastos com sementes, menor consumo de água no período de formação das plântulas e facilidade no manejo das plantas invasoras, pragas e doenças, em comparação com a semeadura direta (Antunes et al., 2005; Landell et al., 2013; Oliveira et al., 2016).

Em virtude destes aspectos, a produção nacional de mudas tem como base parâmetros técnicos consistentes e recomendações bem elaboradas, uma vez que as mudas destinadas a comercialização devem ter excelente qualidade, ausência de problemas fitossanitários e eficiente estabelecimento no plantio (Scremin-Dias et al., 2006).

O primeiro passo para produzir sementes e mudas de qualidade é conhecer as exigências e as particularidades de cada espécie com a qual irá produzir. Desse modo é necessário o conhecimento das técnicas utilizadas desde a colheita e armazenamento do material propagativo até o transplântio das mudas para o campo (Pereira et al., 2011).

Um componente importante no que diz respeito ao crescimento destas mudas, é que no período inicial da produção as espécies de crescimento lento exigem uma taxa de sombreamento que favorece seu desenvolvimento (Pereira et al., 2011).

Com isso, a produção de mudas segue as etapas de semeadura, brotação ou germinação, aclimatização em ambiente protegido, aclimatização em campo e transplântio (Landell et al., 2013).

A etapa de aclimatização é de fundamental importância, uma vez que é possível o controle dos elementos micrometeorológicos por meio da utilização de componentes estruturais como filmes plásticos que refletem a radiação ultravioleta (anti-UV) e malhas fotoseletivas que selecionam comprimentos de onda específicos que promovem alterações fisiológicas nas plantas cultivadas (Holcman & Sentelhas, 2012).

Assim, o cultivo em ambiente protegido permite a alteração dos elementos micrometeorológicos como a temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. Já que condições ambientais adversas prejudicam o rendimento, a qualidade da produção de mudas e reduz a rentabilidade do produtor (Silva et al., 2014).

Desse modo, Andrade et al. (2011) relataram que o ambiente protegido reduziu a densidade do fluxo de radiação solar de $21,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (ambiente externo) para $16,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, no entanto a temperatura do ar no ambiente interno foi em média $3,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ superior a temperatura do ar no ambiente externo (campo aberto).

Reis et al. (2012) descreveram que a transmitância média do material de cobertura (polietileno 0,12 mm) do ambiente protegido foi de 62 %, deste modo ocorreu uma redução de 38% da irradiação solar global no interior do ambiente protegido quando comparado com o ambiente externo.

Guiselini et al. (2013) relataram que esse sistema de cultivo proporciona temperatura do ar que atende as exigências para produção de mudas de cana-de-açúcar na fase de aclimatização e que a malha termorrefletora 50 % proporciona maior desenvolvimento de mudas e maior sobrevivência em decorrência da maior incidência de radiação solar difusa, quando comparado com a malha preta 50 %.

Portanto, a produção de mudas em ambiente protegido permite o controle dos elementos micrometeorológicos, e influenciam a brotação (ou germinação), o rápido crescimento e a expressão de características de interesse comercial.

3.3 Temperatura do ar

A temperatura do ar é outro elemento micrometeorológico que influencia o crescimento das plantas. As temperaturas do ar abaixo de 20 °C proporcionam repouso fisiológico e paralização do crescimento, sendo a faixa de 25 à 33 °C mais adequada para o crescimento cana-de-açúcar (Ferreira-Júnior et al., 2012). Para Lui et al. (1998) a temperatura do ar é um dos fatores que mais influenciam a produção da cana-de-açúcar, com temperatura do ar ótima para o crescimento e desenvolvimento entre 28 e 30 °C.

Vários fatores influenciam na temperatura do ar no interior dos ambientes protegidos, dentre eles: ângulo de incidência da radiação solar, tipo de material de cobertura, tipo de piso ou solo e volume do ambiente protegido. Al-jamal (1994), relata que a temperatura do ar é ainda função da hora do dia e da distribuição de radiação solar durante o dia.

Dessa forma, Reis et al. (2013) ressaltaram que a temperatura do ar no interior do ambiente protegido foi 7,2 % maior do que no ambiente externo. Já os valores de radiação solar global, velocidade do vento e umidade relativa do ar foram maiores valores no ambiente externo.

No interior do ambiente protegido, a temperatura do ar é função da quantidade de radiação que entra e da quantidade de energia retida. Santos et al. (2010) relataram que a temperatura do ar e do solo no interior do ambiente protegido são influenciadas pela luminosidade dos ambientes, no entanto ambientes com malha de sombreamento 40 % e malha termorrefletora 50 % observou-se uma maior redução da temperatura média do ar.

Oliveira et al. (2012) notaram que os ambientes protegidos com malha termorrefletora, malha de sombreamento branca, malha de sombreamento preta e malha cromatinete difusor apresentaram maior temperatura do ar que o cultivo a campo aberto, e a maior diferença foi observada com o uso de malha de sombreamento branca (+ 1,6 °C).

Já a temperatura mínima nos ambientes com malha de sombreamento é menor a que a registrada no campo aberto, fica assim evidente a menor amplitude térmica a que as plantas ficam sujeitas quando cultivadas com o uso de malha de sombreamento. Rampazzo et al. (2014),

observaram que os telados com malha de sombreamento preta de 40 e 50 % e malha termorrefletora 50 % apresentaram maior redução da luminosidade e menor amplitude térmica.

Diante disto, o uso racional de materiais de cobertura tem a função de promover a redução da luminosidade e da amplitude térmica no interior do ambiente de cultivo.

3.4 Umidade Relativa do ar

O ar é uma mistura de gases que se comporta como gás ideal, suas moléculas não ocupam espaço e tampouco interagem. O ar seco é composto por nitrogênio, oxigênio e argônio, além de outros componentes como dióxido de carbono, hidrogênio, hélio, néon e outros. O ar úmido é uma mistura binária de ar seco com vapor d'água até um máximo, que vai depender das condições de temperatura e pressão atmosférica. Dessa forma, a umidade relativa do ar é a relação entre a quantidade de água existente no ar (umidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver na mesma temperatura (ponto de saturação). É a resultante de uma das fases do ciclo hidrológico, evaporação de água. No entanto, o ar possui um limite máximo a partir do qual não absorve mais água (ponto de saturação). A baixo do ponto de saturação a água se acumula em forma de pequenas gotas ou neblina (ponto de orvalho) e acima dele a água precipita na forma de chuvas. Dessa forma a umidade relativa vai variar de acordo com a temperatura, vegetação e presença de rios ou represas (Gonçalves, 2012).

Além disso, Cantu et al. (2013) observaram alteração na umidade relativa do ar com o uso de diferentes malhas de sombreamento e relatam que as maiores médias de umidade relativa do ar foram observadas em túneis com as malhas tipo sombrite preta, prata e azul, que diferiram da malha vermelha e do plástico transparente por estes apresentarem maior temperatura do ar.

Condições de umidade relativa do ar na faixa de 65 à 95 % favorecem a brotação e o crescimento inicial de mudas de cana-de-açúcar, sendo a faixa mais adequada entre 80 à 85 %. Isto porque no período inicial de desenvolvimento as raízes não se encontram totalmente formadas (Silva et al., 2004; Landell et al., 2013). Por tanto, o uso de malhas de sombreamento vai influenciar a umidade relativa do ar, o que deve ser bem manejada para promover condições ideais para a brotação e crescimento das mudas.

3.5 Radiação Solar

Um grande passo nos estudos da física foi a descoberta da luz solar, tanto como partícula quanto como onda no século XX, uma onda eletromagnética é caracterizada por um comprimento de onda (λ), que é a distância entre dois picos de onda sucessivos, e a frequência (ν), definida pelo número de picos que passam por um observador em determinado tempo. Como partícula, a luz denomina-se fótons, onde cada uma dessas partículas contém uma quantidade de energia denominada quantum. Diante disso, o espectro de absorção fornece informações sobre a quantidade de energia captada ou absorvida por uma molécula em função do comprimento de onda de luz (Taiz & Zeiger, 2009).

A energia solar que chega a terra apresenta comprimentos de onda que variam de 200 a 4000 nm, composta pela radiação solar direta e pela radiação solar difusa, em que a intensidade da radiação solar difusa depende da turbidez e nebulosidade da atmosfera. Esta energia é filtrada ao atingir a atmosfera, onde o vapor da água e o CO₂ removem grande parte da radiação na faixa espectral do infravermelho (850 a 1300 nm) e a camada de ozônio retém a radiação ultravioleta (Floss, 2004).

Uma parte desta radiação é composta pela radiação solar infravermelha, que é fortemente absorvida na atmosfera pelo vapor de água e CO₂. Na superfície terrestre os espectros de luz solar com níveis elevados de energia, especialmente o ultravioleta (UV), pode inibir processos celulares por danificar membranas, proteínas, lipídeos e o núcleo das células. Dessa forma, irradiâncias muito acima do ponto de saturação de luz perturba a estrutura dos cloroplastos e reduz a taxa fotossintética, em um processo denominado fotoinibição (Nobel, 2009; Ordog & Molnar, 2011).

A faixa de luz solar no espectro do visível é primeiramente absorvida pelos pigmentos fotossintéticos das plantas, que ficam localizados nos cloroplastos, e promovem respostas diferenciadas que estão associadas ao fitocromo, à luz azul e as que estão diretamente relacionadas com a fotossíntese (Kerbaudy, 2008).

O espectro eletromagnético de radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) compreende os limites espectrais entre 400 e 700 nm, esta é a radiação solar e disponível para a fotossíntese. Dentro da faixa do visível, os diferentes espectros eletromagnéticos influenciam diferentes processos fisiológicos das plantas.

O espectro de radiação eletromagnética na faixa do azul (440 à 485 nm) tem como característica apresentar menor comprimento de onda associado a uma maior frequência de radiação do que a faixa espectral da radiação vermelha, por este motivo é mais energética. Já a

faixa espectral do vermelho a vermelho distante (625 à 740 nm) é tida como a zona de máxima absorção da clorofila, que proporciona a máxima taxa fotossintética (Floss, 2004).

Estes componentes de radiação solar disponíveis para fotossíntese tem a responsabilidade de suprir duas necessidades de extrema importância para os seres vivos, a primeira delas é a geração de energia que é suprida pela realização da fotossíntese pelas plantas, e a outra é que a radiação solar fornece informações críticas sobre o meio ambiente por meio de “sensores” denominados pigmentos fotossintéticos, estas células são capazes de perceber a qualidade e a quantidade de radiação solar (Kerbaudy, 2008; Taiz & Zeiger, 2009).

Dessa forma, a quantidade e qualidade da luz solar determina as respostas fotossintéticas das plantas e em algumas situações a fotossíntese é limitada pelo suprimento inadequado de luz ou CO₂, o que pode promover sérios danos à célula vegetal, razão pela qual as plantas possuem mecanismos que protegem o sistema fotossintético da luz excessiva (Taiz & Zeiger, 2009).

3.5.1 Efeitos da “quantidade” de radiação solar nas plantas C4

Como visto anteriormente, a luz solar é composta por partículas denominadas fótons e cada uma dessas partículas contém uma certa quantidade de energia que é chamada de quantum. Este conteúdo energético da luz não é contínuo e é emitido em pequenos pacotes denominados quanta, dessa forma, a energia de um fóton qualquer vai depender da frequência da luz solar (Taiz & Zeiger, 2009).

Na região nordeste do Brasil, a estimativa da radiação solar global média anual atinge valores máximos de 16,38 a 22,68 MJ m⁻² dia⁻¹. Em Recife-PE, a radiação solar global média anual atinge 16,38 MJ m⁻² dia⁻¹, na mesma região, a intensidade de radiação fotossinteticamente ativa média anual é em torno de 8,28 MJ m⁻² dia⁻¹, dados que são de grande importância para o setor de agronegócios, biocombustíveis e para determinar a produtividade primária das culturas (Pereira et al., 2006).

Esta intensidade luminosa desempenha um papel crucial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, no entanto, espécies com metabolismo fotossintético C4 não saturam com o aumento da intensidade luminosa, o que proporciona um aumento crescente até taxas máximas de fluência de fótons na superfície terrestre (Kerbaudy, 2008). Devido a isto, os principais efeitos negativos da quantidade de luz solar para o desenvolvimento das plantas C4 estão relacionados a menores intensidades de radiação solar.

Dessa forma, a FAO (2011) estabeleceu que no cultivo de mudas de cana-de-açúcar é necessário em torno de $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ de radiação solar global no interior dos ambientes protegidos, pois o ambiente protegido reduz a densidade do fluxo de radiação solar em cerca de 24 %, em relação ao ambiente externo (Andrade et al., 2011).

Já em condições de campo, Moraes et al. (2014) relataram que em regiões de cultivo da cana-de-açúcar no sudeste Brasileiro a radiação solar global média atingiu os valores mais altos entre $13,7$ e $27,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. No entanto, esta radiação solar, em geral, variou com acumulado entre $6,8$ e $20,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Em cultivos comerciais em Maui, Hawaii (EUA), a radiação solar interceptada diariamente pela cultura da cana-de-açúcar variou de $3,1$ a $27,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, em campos de baixa altitude, e $5,9$ a $25,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, em campos de altitude elevada, o que resultou em uma produtividade primária bruta diária que variou de $1,9$ a $25,9$ gramas de Carbono m^{-2} e $5,3$ a $21,7$ gramas de Carbono m^{-2} , respectivamente (Anderson et al., 2015).

Ao longo dos anos as variedades de cana-de-açúcar têm passado por uma constante evolução, o que tem permitido maior adaptabilidade às condições do meio ambiente e maior aproveitamento dos recursos naturais necessários para aumento da produção. O que pode ser observado pelo aumento da quantidade de radiação solar interceptada durante o ciclo de cultivo da cana-de-açúcar ao longo das décadas (Figura 1.) (Acreche, 2017).

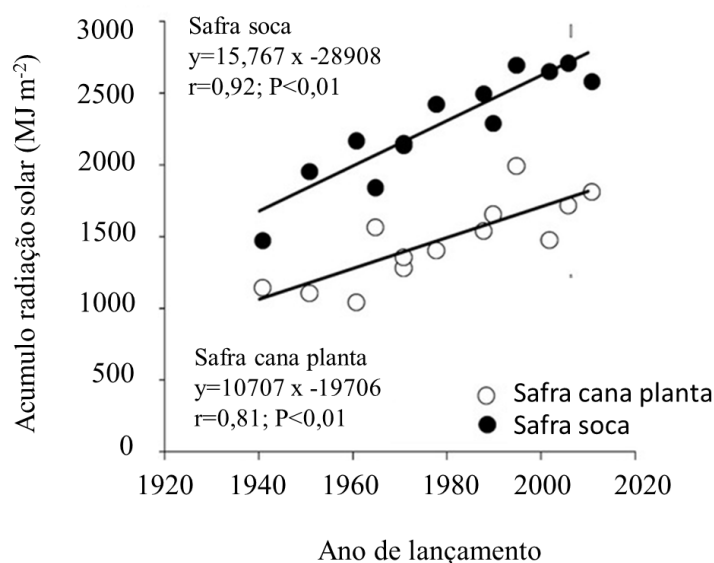


Figura 1. Acúmulo de radiação solar de variedades de cana planta e cana soca lançadas desde a década de 1920. (Adaptado de Acreche, 2017)

Ferreira-Junior et al. (2012) observaram uma correlação positiva e crescente entre a produtividade de cana-de-açúcar e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (Figura 2.), onde a cada MJ interceptado por m² de plantas de cana-de-açúcar proporcionou o aumento de cerca de um grama de açúcar. Notaram também que a variedade RB92579 obteve uma maior eficiência de conversão energética.

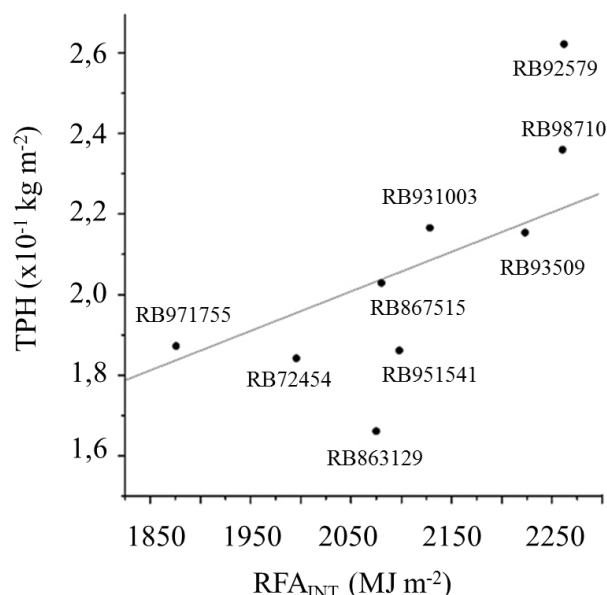


Figura 2. Correlação entre a produtividade da cana de açúcar (TPH) e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{INT}) no cultivo de variedades de cana de açúcar entre 01/02/2008 e 01/02/2009. (Adaptado de Ferreira-Junior et al., 2012)

A produção de massa seca total (MST) é também um excelente parâmetro para avaliar o crescimento de plantas sob baixas intensidades de luz, uma vez que a capacidade de adaptação ao ambiente de baixa luminosidade está diretamente relacionada a MST. Em ambientes com 50 % de luminosidade, as espécies forrageiras *Urochloa brizantha*, *U. decumbens*, *Panicum maximum* e *Cynodon dactylon* não apresentaram efeito significativo na produção de MST, no entanto, quando submetidas a 25 % de intensidade luminosa as plantas apresentaram redução significativa da MST, exceto *Panicum maximum* que não alterou a produção de MST em condições de baixa luminosidade. Isto deve-se ao fato que em condições de restrição a luminosidade, as plantas c4 não superam o ponto de compensação fotossintético, de modo que a planta passa a apresentar respiração superior à taxa fotossintética (Silva, 2017).

Já Ferreira-Junior et al. (2014) relataram em plantas de milho cultivadas no nordeste Brasileiro, independente do tipo de cobertura do solo, a eficiência no uso da radiação solar foi de 3,85g de massa seca (MS) para cada MJ de radiação fotossintética interceptada acumulada. Além disso, a eficiência no uso da radiação não sofre influência do espaçamento entre linhas

na cultura da cana-de-açúcar, uma vez que esta eficiência foi de 2,73 e 2,78 g de MS para cada MJ de radiação interceptada para plantas cultivadas em espaçamento simples e duplo, respectivamente (Ferreira Junior et al., 2015).

Adicionalmente, em condições de campo, a fotossíntese é frequentemente limitada pela disponibilidade de luz. Esta limitação é resultado da variação sazonal e diurna da intensidade luminosa e também do auto-sombreamento das plantas em campo, no entanto, diferentes variedades podem promover adaptações distintas a esta limitação. Na variedade de cana-de-açúcar IACSP93-2060 a resposta fotossintética a luz não foi afetada pelo auto-sombreamento em baixos níveis de luminosidade. Já a variedade IACSP95-3028, apresentou taxas fotossintéticas mais altas na camada superior do dossel do que na camada inferior sob alta disponibilidade de luz. De fato, as diferenças na fotossíntese entre as camadas do dossel da IACSP95-3028 começaram a aumentar em valores superiores a $1100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Marchiori et al., 2014).

Do mesmo modo, Bellasio & Griffiths (2014) obtiveram respostas fisiológicas distintas em plantas de milho submetidas a intensidade luminosa decrescente, onde plantas cultivadas sob luz de intensidade fraca obtiveram a menor assimilação de CO_2 , já plantas cultivadas sobre maior intensidade de luz obtiveram assimilação maior de CO_2 , devido a isto, quando as plantas mantidas a luz de fraca intensidade foram movidas para intensidades de luz mais altas elas rapidamente eliminaram todas as folhas crescidas sob luz fraca. Esta re-aclimatação natural provoca mudanças fisiológicas substanciais, que têm implicações para o balanço energético das folhas dentro de um dossel em crescimento.

Portanto, os principais efeitos proporcionados pela quantidade de radiação solar em plantas C_4 estão correlacionados com a limitação da radiação solar no dossel de plantas, isto proporciona redução na eficiência do uso da radiação, redução da massa seca total e redução da taxa fotossintética nas plantas.

3.5.2 Efeitos da “Qualidade” de radiação solar nas plantas C_4

A energia proveniente da luz solar é primeiramente absorvida pelos pigmentos fotossintéticos das plantas, que ficam localizados nos cloroplastos. Esta luz solar promove respostas diferenciadas nas plantas, que são: as respostas associadas ao fitocromo, as respostas à luz azul e as que estão diretamente relacionadas com a fotossíntese (Kerbaudy, 2008).

De modo geral, a qualidade da radiação solar refere-se à distribuição espectral da radiação, ou seja, a parte da emissão que está nas regiões azul, verde, vermelha ou outras regiões de comprimento de onda visíveis ou invisíveis.

Para a fotossíntese, as plantas respondem mais fortemente à luz vermelha e azul. A distribuição espectral da luz também tem um efeito sobre a forma da planta, desenvolvimento e floração (fotomorfogênese). Alguns dos principais efeitos dos espectros de radiação nas plantas são apresentados a seguir, de acordo com Singh et al. (2015):

- 200-280 nm (ultravioleta C): Esta faixa do espectro é prejudicial para a planta devido à sua alta toxicidade. A UVC é bloqueada pela camada de ozônio terrestre, portanto não atinge a superfície terrestre.
- 280-315 nm (ultravioleta B): Esta faixa não é muito prejudicial, mas faz com que as cores das plantas se “apaguem”.
- 315-380 nm (ultravioleta A): Esta gama não tem qualquer efeito positivo ou negativo sobre o crescimento da planta.
- 380-400 nm (ultravioleta A / luz visível): Início do espectro da luz visível, inicia-se o processo de absorção da luz por pigmentos vegetais (clorofilas e carotenóides).
- 400-520 nm (luz visível): Contém bandas violeta, azul e verde. Primeiros picos de absorção da clorofila ocorrem nesta faixa e tem uma forte influência no crescimento vegetativo e na fotossíntese.
- 520-610 nm (luz visível): Este intervalo contém bandas verdes, amarelas e laranja. Esta gama é menos absorvida pelos pigmentos da planta e tem menos influência no crescimento vegetativo e na fotossíntese.
- 610-720 nm (luz visível): Contém as bandas vermelhas e uma grande quantidade de absorção de energia luminosa ocorre neste intervalo, pois é a faixa de maiores picos de absorção das clorofilas. Esta banda afeta fortemente o crescimento vegetativo, a fotossíntese, a floração e brotação.
- 720-1000 nm (vermelho distante /infravermelho): A germinação e a floração são influenciadas por este intervalo, mas ocorre pouca absorção de energia nesta banda.
- >1000 nm (infravermelho): Toda absorção de energia luminosa nesta região é convertida em calor.

Plantas de sorgo cultivadas sob filtros que reduzem a radiação ultravioleta B e ultravioleta A/B (UV-B e UV-A/B, respectivamente) (280 à 400 nm) mostraram aumento em vários parâmetros de crescimento em relação as plantas mantidas sob a presença de UV-B e

UV-A/B. O aumento na área da folha bandeira foi mais proeminente após exclusão de UV-B em comparação com a exclusão de UV-A / B nas variedades CSV-23, I-26 e I-27 (Figura 8A). A taxa fotossintética apresentou aumento significativo após o bloqueio da radiação UV-B e UV-A/B em todas as variedades de sorgo, contudo, a promoção foi maior nas variedades I-27 e I-26 em comparação com as variedades I-12 e CSV-23 (Figura 8B). Dessa forma, a radiação ultravioleta ambiente apresentou um efeito inibitório no crescimento e taxa fotossintética das variedades de sorgo testadas, isto por que muitas plantas apresentam redução da taxa fotossintética e clorose em função do estresse produzido por radiação ultra violeta (UV) (Kataria & Guruprasad, 2012).

Sob o espectro de luz azul (460 nm) são observadas taxas fotossintéticas inferiores, o que pode ser explicado pelo desequilíbrio da energia disponível para o ciclo C₄, isto devido a menor absorção da luz azul pelas células do mesofilo e a baixa eficiência fotoquímica da luz azul, devido às diferenças nos espectros de absorção dos fotossistemas I e II, 700 e 680 nm, respectivamente (Sun et al., 2012). Em síntese, a qualidade de radiação solar influencia a taxa fotossintética, uma vez que os espectros de luz solar causam uma excitação desigual entre as células do mesofilo.

Do mesmo modo, Jefferson & Muri (1997) observaram que plantas de gramínea (*Dahurian Wildrye*) apresentaram maior acúmulo de massa seca quando cultivadas sobre filtros de luz que combinavam a luz azul (66%) com uma taxa de luz vermelha/vermelha distante, do que quando cultivadas sob filtros de luz azul e sob filtros de luz vermelha isoladamente. Taiz & Zeiger (2009) enfatizaram que além da faixa de 600-700 nm ser crucial para produção de fotoassimilados nas plantas, um componente de luz azul (460 nm) é de fundamental importância para síntese de moléculas fotossintéticas.

Dessa forma, o espectro de luz vermelha aplicado isoladamente (faixa de 620-630 nm) causou um desmanche nas estruturas dos tilacóides, que ficaram de forma desordenada dentro do cloroplasto e proporcionou redução nas quantidades de clorofila a e b em mudas micropropagadas de cana-de-açúcar (Maluta et al., 2013). De fato, um componente no espectro de luz azul (460 nm) é fundamental para a síntese de pigmentos fotossintéticos, especialmente a clorofila (Silva et al., 2014).

Diante do que foi apresentado, Ferreira et al. (2016) evidenciaram o papel da qualidade de radiação solar em mudas de cana-de-açúcar, onde uma fonte de luz artificial com picos de 450, 525 e 650 nm do espectro de luz, promoveram o desenvolvimento de um maior número de brotações por explante em cana-de-açúcar cultivada *in vitro*, este tipo de luz ainda promoveu

o maior teor de clorofilas e carotenóides. Resultados que estão de acordo com os obtidos por Silva et al. (2016), que observaram que na mistura de luz vermelha e azul (50 % azul + 50 % vermelha, $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) as plântulas de cana-de-açúcar apresentaram maior comprimento do colmo, massa fresca e número de perfilhos.

Já Rocha et al. (2013) observaram que na faixa do vermelho do espectro de radiação solar (620-780 nm), durante a aclimatização *in vitro*, as plântulas de cana de açúcar apresentaram maiores percentuais de sobrevivência, além de maior comprimento de broto, maior número de folhas e maior diâmetro de gemas, com a mesma tendência ao processo de rizogênese. O que pode ser explicado pelo fato do espectro da luz vermelha está próximo dos picos máximos de absorção de luz da clorofila e fitocromo e por esta razão, a luz vermelha é importante para o aparelho fotossintético e acúmulo de amido, o que aumenta o desenvolvimento do broto.

Reynolds et al. (2012) relataram que a taxa fotossintética de um gramado em crescimento é alterada pela pintura a que são submetidos para demarcação de campos desportivos. Os autores observaram que a pintura vermelha (620-750 nm) acarretou uma redução de 75 % na fotossíntese do dossel, isto por que neste espectro as plantas absorveram apenas 51 % da radiação fotossinteticamente ativa, transmitiram 6 % e refletiram 43 %. Já sob tinta branca (400-700 nm) observou-se maior taxa fotossintética nas plantas.

Já em condições transitórias, mudanças na qualidade da luz alteraram a coordenação dos ciclos C3 em *Miscanthus Giganteus* e C4 em *Zea Mays* e influenciam as taxas de assimilação de CO₂, por meio da mudança na concentração de fotoassimilados e enzimas. Sob luz azul (460 nm) o ácido oxaloacético (OAA) apresentou maior concentração para ambas as espécies, contudo, a mudança na concentração foi mais lenta no milho que em *M. Giganteus* quando modificou o espectro de luz. A concentração de piruvato era constante sob luz vermelha, mas ocorreu um aumento significativo no conteúdo após a transição para a luz azul em ambas as espécies, o que levou 30 min para atingir um estado estacionário em *M. Giganteus* e apenas 10 min no *Z. Mays*, o que implica um abastecimento de energia insuficiente sob luz azul para converter piruvato em PEP no mesófilo das células, o que ocasiona redução da taxa fotossintética. No entanto, as espécies C3 e C4 não diferiram significativamente no conteúdo de Fosfoenolpiruvato (PEP) entre os diferentes espectros de luz (Figura 9) (Sun et al., 2014).

Portanto, os principais efeitos da qualidade de radiação solar estão associados à fotomorfogênese, síntese de compostos fotossintéticos e a taxa fotossintética de plantas C4.

Fica evidente também que dentro do espectro da luz visível, o espectro de luz azul e de luz vermelha exercem maior influência na fotomorfogênese de plantas C4.

3.6 Malha Fotosseletiva

A malha fotosseletiva, de acordo com o fabricante (Solpack[®]) é um material produzido para o sombreamento em estufas e viveiros, resistentes a condições adversas, agrotóxicos, insetos, pássaros e pragas. Ela permite o controle de vários fatores de crescimento como: o tamanho da folha, comprimento dos ramos, altura da planta, taxa de maturação e floração. Malhas fotosseletivas proporcionam alterações micrometeorológicas no ambiente de estudo e sua composição apresenta fibras altamente reflexivas, que proporcionam melhores condições para o crescimento das culturas.

Na produção de mudas em ambiente protegido, assim como no cultivo a céu aberto, a radiação solar influencia diretamente a produção de fotoassimilados nas plantas, que é resultante do metabolismo fotossintético do carbono (C) (Kerbauy, 2008).

Estudos relataram que o uso de malhas fotosseletivas possibilitaram o controle dos elementos micrometeorológicos, como exemplo a malha fotosseletiva vermelha que proporcionou maior porcentagem de RFA do que o ambiente coberto com malha termorrefletora e a céu aberto (Arthurs et al., 2013; Gama et al., 2017), no entanto, aumentou a temperatura média do ar no interior do ambiente protegido (Cantu et al., 2013).

Já a malha fotosseletiva termorrefletora e cinza proporcionaram maior redução da temperatura do ar dos ambientes de cultivo, o que beneficia o cultivo de mudas, pois o aumento da temperatura do ar causa um desequilíbrio no balanço de carbono das plantas e aumenta a fotorrespiração em plantas de tomate (Silva et al., 2013).

Além disto, Guiselini et al. (2013) observaram que a malha fotosseletiva termorrefletora com nível de 50% de sombreamento proporcionou maior incidência e difusão da radiação solar global no interior do ambiente de cultivo do que a malha de preta com 50 % de sombreamento.

Holcman & Sentelhas (2012) relataram que sob malha fotosseletiva azul a temperatura do ar (Tar) foi superior em 1,3 °C e a umidade relativa do ar (UR) foi reduzida em 7 % quando comparados com os dados médios registrados no ambiente a céu aberto, esta malha promoveu ainda maior Tar e menor UR que os ambientes cobertos com as malhas fotosseletivas vermelha, preta e termorrefletora.

Além disso, em regiões de alta intensidade de radiação solar e baixa circulação de ar, o uso de malhas fotosselativas mostrou-se de grande importância para a redução da Tar, uma vez que sob malha pérola e vermelha a Tar do ambiente foi reduzida em 1% quando comparado com a malha preta, que apresentou Tar 3 % maior que o ambiente a céu aberto (Ilic et al., 2012).

Nos estudos de Hirata & Hirata (2015), as malhas fotosselativas preta 50 % e prata 50 % proporcionaram maior redução da temperatura do solo (Tsolo) até as 11 hrs da manhã quando comparadas com as malhas vermelha e branca/prata, no entanto, após as 12 hrs o uso de qualquer tipo de malhas fotosselativa promoveu a redução de Tsolo.

Soma-se a isto, a influência da porcentagem de sombreamento da malha fotosselativa na Tsolo, uma vez que sob malhas com 50 e 70 % de sombreamento observou-se uma redução de 2,4 e 3,0 °C em relação ao cultivo a céu aberto (Masabni et al., 2016).

3.6.1 Efeito da malha fotosselativa no espectro de luz solar

O uso de materiais de cobertura (malhas fotosselativas) é de grande importância no cultivo de mudas, plantas ornamentais e hortícolas, pois permitem a seleção de comprimentos de onda que proporcionam alterações morfofisiológicas nas plantas. Estes comprimentos de onda promovem respostas diferenciadas e incrementam a capacidade produtivas das culturas (Holcman & Sentelhas, 2012).

Dessa forma, a malha fotosselativa azul proporciona maior transmitância espectral na faixa de 470 nm e menores picos na região do vermelho-distante e infravermelho (acima de 750 nm), enquanto que a malha fotosselativa vermelha tem maior transmitância em comprimentos de onda acima de 590 nm (vermelho) e um pico menor em torno de 400 nm, pois limita o espectro de onda na faixa do azul (Oren-Shamir et al., 2001; Brant et al, 2009).

Estas malhas possuem ainda um maior poder de transmissão da radiação solar global, devido a luz azul apresentar uma faixa de maior comprimento na região do azul a verde (400-540 nm) e a vermelha apresentar uma ampla faixa de comprimento de onda acima de 590 nm (Braga et al., 2006; Oren-Shamir et al., 2001).

Já a malha verde apresenta um pico em torno de 520 nm, bem como gradual transmitância na faixa do vermelho distante, e as malhas “neutras” (cinza, preta e termorrefletora) não modificam o espectro na faixa do visível (Oren-Shamir et al., 2001).

Estas malhas fotosselativas promovem ainda alteração na razão azul/vermelho e na razão vermelho/vermelho distante (V:VD), pois a malha azul proporciona uma maior relação

azul/vermelho, o que beneficia a síntese dos principais pigmentos fotossintéticos (clorofila a e b) e a malha vermelha possibilita menor relação V:VD, o que reduz o teor de clorofila total (Melo & Alvarenga, 2009).

Dentre as malhas “neutras”, diversos estudos relatam que o principal benefício da malha termorrefletora é modificar a quantidade de radiação solar que é transmitida para o interior do ambiente protegido, pois proporciona aumento da reflexão da radiação solar e com isto permite maior redução da temperatura do ar, o que favorece o balanço de carbono das plantas e reduz a fotorrespiração (Silva et al., 2013).

Portanto, o uso de malhas fotosseletivas permite a intensificação de espectros específicos do comprimento de onda de luz na faixa do visível e com isso possibilita o controle de fatores de crescimento das plantas em ambiente protegido.

3.6.2 Efeito das malhas fotosseletivas na produção de mudas

A produção de mudas a céu aberto pode ocasionar danos irreparáveis e comprometer a qualidade fisiológica das mudas, por isto comumente adota-se um “padrão” de sombreamento para interceptação da radiação solar nesta etapa de cultivo (Paiva et al., 2003).

O uso de malhas fotosseletivas promove alterações na quantidade e qualidade da radiação solar que influenciam as trocas gasosas e alteram os processos morfofisiológico nas plantas (Holcman & Sentelhas, 2012; Da Costa & Marengo, 2007), o que resulta em modificações na produção de biomassa, na formação de estruturas produtoras de compostos metabólicos e na manutenção da transmitância da radiação solar próximo ao ponto de saturação de luz para mudas (Martins et al., 2009; Martins et al., 2008; Ferreira et al., 2014).

Em mudas de palmeira ráfia (*Rhapis excelsa*), o uso da malha fotosseletiva azul com 50 % de sombreamento proporcionou maior incremento em altura (2,66 cm) e foi significativamente maior que o incremento observado em mudas sob as malhas preta com 50 % e 80 % de sombreamento e vermelha com 50 % de sombreamento. O que se mostrou de grande interesse comercial por se tratar de uma planta ornamental, onde o ganho rápido em altura reduziu o tempo necessário para comercialização (Meirelles et al., 2007).

Souza et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes, em que o rendimento de óleo essencial foi significativamente afetado pelo uso de malhas fotosseletivas e a malha fotosseletiva azul com 50 % de sombreamento proporcionou maior teor de óleo essencial em

plantas de guaco. Possivelmente o comprimento de onda no ambiente com malha azul promoveu a ativação de rotas do metabolismo secundário de *Mikania glomerata*.

Já a malha fotosselativa vermelha promoveu um sombreamento que proporcionou maior matéria seca de mudas de cafeeiro que o proporcionado pelas malhas azul, branca, cinza e preta. A malha vermelha proporcionou ainda maiores teores de açúcares totais solúveis e de amido nas folhas e nas raízes (Figura 3), o que resulta na obtenção de uma muda com maior vigor e qualidade (Henrique et al., 2011).

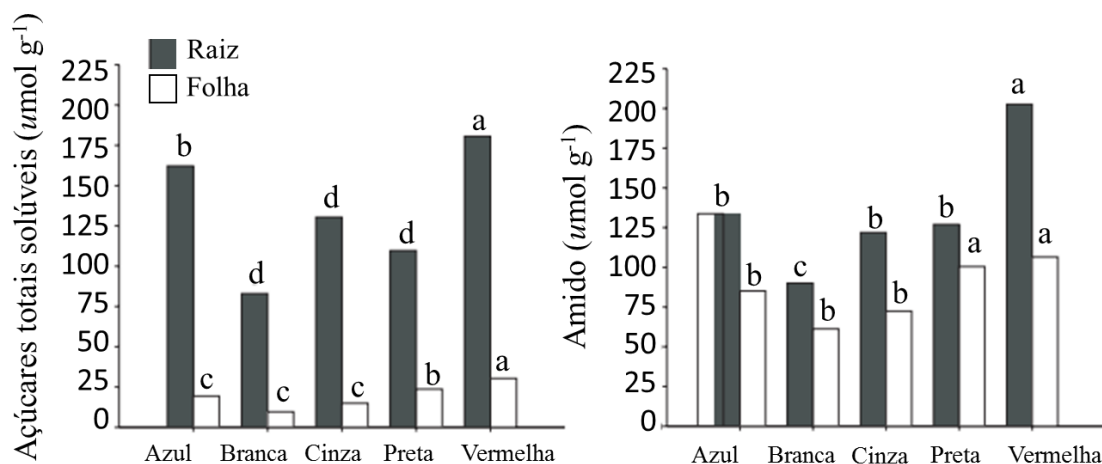


Figura 3. Teores de açúcares solúveis totais e amido, em matéria seca de folha e de raízes de mudas de cafeeiros cultivadas sob diferentes malhas de sombreamento. Barras seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade (adaptado de Henrique et al., 2011).

Em mudas de *Mentha piperita* o uso de malha fotosselativa vermelha com 50 % de sombreamento incrementou em 24 % a massa seca da folha e 190 % a massa seca do caule em comparação com o cultivo a céu aberto, já em relação ao cultivo sob malha fotosselativa azul com 50 % de sombreamento este incremento foi de 14 e 32 %, respectivamente (Souza et al., 2013). Proporcionou também, juntamente com a malha azul, o surgimento de novas brotações (Klein et al., 2016).

A malha fotosselativa vermelha com 50 % de sombreamento foi também eficiente em manter alta a atividade da enzima nitrato redutase de mudas de guanandi aos 150 dias após transplante, uma vez que o sombreamento com malhas azul e preta com 50 % de sombreamento reduziram em 37 e 38 %, respectivamente, esta atividade enzimática. A atividade da nitrato redutase apresentou intima relação com a taxa fotossintética, o que demonstrou que esta enzima é de grande importância, uma vez que permite a utilização do nitrogênio pela célula (Saraiva et al., 2014).

Além disso, o cultivo sob malha fotosseletiva vermelha com 50 % de sombreamento proporcionou conjuntamente o maior rendimento de óleo essencial (0,51 g planta⁻¹) e uma maior biomassa seca da parte subterrânea (42,5 g planta⁻¹) de mudas de *Achillea millefolium* (Pinto et al, 2014).

A densidade estomática foi outra característica beneficiada pelo sombreamento proporcionado pelas malhas fotosseletivas vermelha e azul, pois mudas de *Tamarindus indica* apresentaram 195,6 e 185,6 estômatos mm⁻² na parte abaxial da folha, que diferiram estatisticamente das mudas cultivadas sob malha branca e preta (Silva et al., 2015).

Mudas de *Copaifera langsdorffii* Desf. (copaíba) cultivadas em ambiente com malhas vermelha e azul com 50 % de sombreamento apresentaram maior biomassa seca da parte aérea, quando comparado com o cultivo a pleno sol. Estes resultados apontam que a produção de biomassa seca é reduzida pela alta quantidade de radiação solar, em consequência da redução do processo fotossintético, dessa forma, as malhas vermelha e azul promovem a formação de mudas mais vigorosas (Nascimento et al., 2014).

Em mudas de *Dipteryx alata* (“baruzeiro”), o uso de malhas preta e aluminizada não influenciou a emergência das mudas, no entanto, no cultivo sob malha preta ocorreu um incremento de 8,6 % em altura, 10,8 % em massa seca da parte aérea, 7,7 % em massa seca total e 6,8% na relação altura/diâmetro do colmo, isto devido a maior proporção de RFA no telado preto (Costa et al., 2015).

Brant et al. (2008) relataram que a malha preta 50 % proporcionou maior relação raiz/parte aérea em mudas de *Melissa officinalis*, quando comparado com os tratamentos a pleno sol e sob malhas (azul e vermelha), o que é uma característica benéfica no cultivo de mudas devido ao favorecimento no estabelecimento das mudas em campo.

Em mudas de *Acrocomia aculeata* (palmeira bocaiúva) a malha aluminizada proporcionou índice de qualidade de mudas de 3,01 e diferiu significativamente das plantas mantidas em ambiente protegido sem malha (2,63) e sob malha preta (2,46) (Costa et al., 2014). Sanches et al. (2017) obtiveram resultados semelhantes com mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril*), pois a malha aluminizada proporcionou maior quantidade de radiação solar difusa, condições que promovem maior acumulação de biomassa.

Portanto, o uso de malhas fotosseletivas altera a qualidade de radiação solar que chega ao ambiente de cultivo e causam alterações morfofisiológicas que beneficiam a produção de mudas.

3.7 Fotossíntese

A cana-de-açúcar é uma gramínea com metabolismo fotossintético do tipo C4, que pode alcançar taxa fotossintética bruta próxima de $760 \mu\text{mol CO}_2 \text{ dia}^{-1}$ e uma assimilação líquida de $590 \mu\text{mol CO}_2 \text{ dia}^{-1}$, onde a maior parte do carbono é acumulado sob a forma de sacarose nos vacúolos centrais das células parenquimáticas (Guerra et al., 2014). Isso devido ao mecanismo de adaptação das plantas C4, que permite o aumento do conteúdo de CO_2 nas células do mesófilo com o fechamento parcial das células estomáticas, que reduz assim a condutância estomática e a transpiração em condições de alta concentração de CO_2 . Morgan et al. (2011) relataram que a elevação da concentração de CO_2 aumenta a eficiência do uso da água e da produção de biomassa de cana-de-açúcar.

O metabolismo fotossintético é um processo vital para a manutenção da vida do ecossistema, através dela ainda são produzidas substâncias essenciais para os seres vivos. Entre elas está o oxigênio (O_2), o qual é subproduto da redução de moléculas de CO_2 e da oxidação de moléculas de H_2O , que utiliza energia solar e produz compostos orgânicos que são utilizados para crescimento dos órgãos vegetais, que servirão de alimento para a cadeia trófica. Dessa forma a luz é a fonte de energia utilizada para uma série de reações que culminam na fotossíntese. Segundo Souza et al. (2008), as plantas, algas e alguns tipos de bactérias utilizam a fotossíntese para converter energia solar em energia química, para fixar CO_2 e produzir compostos orgânicos.

Existem vários fatores que podem interferir nesse processo e são divididos em fatores externos e fatores internos. Os fatores internos são os pigmentos fotossintetizantes, as enzimas e coenzimas que atuam no processo. Os fatores externos que influenciam a fotossíntese são: concentração de CO_2 , água, luz e temperatura. O CO_2 é um fator limitante da fotossíntese, uma vez que se a taxa de CO_2 estiver baixa, ele não conseguirá se difundir para os cloroplastos com a mesma velocidade que é consumido, o que prejudica o processo de produção de fotoassimilados e a fotossíntese como um todo. Desta forma o aumento da concentração de CO_2 vai proporcionar as plantas incrementos na disponibilidade de substrato para a fotossíntese e consequentemente na produtividade primária (Buckeridge et al., 2007).

Guerra et al. (2014) relataram que a taxa fotossintética bruta de plantas de cana-de-açúcar, no estágio inicial de desenvolvimento, varia de acordo com a temperatura do ar de $760 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ dia}^{-1}$ no tratamento com temperatura média ($23/29 \text{ }^\circ\text{C}$), de $261 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ dia}^{-1}$ no tratamento com temperatura baixa ($13/19 \text{ }^\circ\text{C}$) e de $476 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ dia}^{-1}$ no tratamento

com temperatura alta (27/33 °C). Contudo, a porcentagem de respiração é menos afetada pelas diferentes temperaturas. No entanto, Diola & Santos (2012) relataram que temperaturas acima de 38 °C reduzem a fotossíntese e aumentam a respiração.

No entanto, Ordog & Molnár (2011) relataram que comprimentos de onda com níveis elevados de energia podem inibir processos celulares por danificar membranas, proteínas e o núcleo de células do mesófilo. Sendo assim, irradiâncias acima do ponto de saturação de luz causa estresse na planta por perturbar a estrutura do cloroplasto e reduzir a taxa de fotossíntese. Tal processo é denominado fotoinibição e pode ocorrer pela produção de formas destrutivas de oxigênio, que leva a inativação do fotossistema II (PSII) pela destruição de proteínas, ou pela produção de espécies reativas de oxigênio (superóxidos), que em excesso causam a destruição das células por oxidação.

3.8 Espectros de luz na fisiologia de plantas

O sol produz uma enorme quantidade de energia, que inclui raios cósmicos, gama, raios-x, radiação ultravioleta (UVB e UVA), radiação visível e radiação infravermelha. Todos os componentes de alta intensidade de radiação solar (radiação cósmica, gama e x) são refletidos ou absorvidos atmosfera e a maioria da radiação UV é eficientemente absorvida pela camada de ozônio estratosférico. Esta camada absorve eficientemente toda a radiação UVC (200-280 nm) e a maior parte da radiação UVB (290-320 nm) e UVA (321-400 nm), pois cerca de 0,1 de UVB e 5 % de UVA atingem a superfície terrestre. Já uma maior fração de radiação visível (39%) e radiação infravermelha (56%) atravessam a camada de ozônio e atingem a superfície terrestre (Holick, 2016).

A radiação solar infravermelha é fortemente absorvida na atmosfera pelo vapor de água e CO₂. A absorção de radiação UV e infravermelha permite que se tenha uma maior fração da radiação visível na superfície da atmosfera (Nobel, 2009).

Na superfície terrestre os espectros de luz solar com níveis elevados de energia, especialmente o ultravioleta (UV), podem inibir processos celulares por danificar membranas, proteínas, lipídeos e o núcleo das células vegetais. Dessa forma, irradiâncias muito acima do ponto de saturação de luz perturba a estrutura dos cloroplastos e reduz a taxa fotossintética, em um processo denominado fotoinibição (Ordog & Molnar, 2011).

A faixa de luz solar no espectro do visível é primeiramente absorvida pelos pigmentos fotossintéticos das plantas, que ficam localizados nos cloroplastos, e promovem respostas

diferenciadas que estão as associadas ao fitocromo, à luz azul e as que estão diretamente relacionadas com a fotossíntese (Kerbaudy, 2008).

O fitocromo é um pigmento protéico que absorve energia mais fortemente na região do vermelho e vermelho distante (630 à 700 nm), dessa forma, a presença deste espectro de luz promove a germinação de sementes, o desestiolamento de plantas, formação do primórdio foliar, inibe o alongamento do entrenó e o florescimento, aumenta a taxa de acúmulo de clorofila, entre outras respostas que depende da espécie de planta e do seu estágio de desenvolvimento da mesma (Taiz & Zeiger, 2009).

As respostas promovidas nas plantas pela luz azul (400-500 nm) estão relacionadas ao fototropismo, inibição do alongamento do hipocótilo e estímulo na síntese de clorofilas e carotenóides, além de atuar nos movimentos estomáticos (Kerbaudy, 2008).

Já as respostas associadas a fotossíntese vão influenciar diretamente as quantidades de pigmentos fotossintéticos presentes nas plantas, onde os mais abundantes são a clorofila a e clorofila b (Taiz & Zeiger, 2009).

De modo geral, as luzes vermelha e azul influenciam fortemente a fotossíntese, no entanto, a distribuição espectral da luz também tem um efeito sobre a forma, desenvolvimento e floração (fotomorfogênese) das plantas

3.8.1 Espectros de luz nos pigmentos fotossintéticos

Os diferentes tipos de pigmentos fotossintéticos captam radiação solar de comprimentos de ondas distintos, o que justifica a coloração diferenciada destes pigmentos. O padrão de absorção de cada tipo de pigmento é denominado espectro de absorção e os com maior eficiência fotossintética situam-se nas faixas do espectro luminoso violeta-azul e laranja-vermelho.

Dentre os diversos tipos de pigmentos fotossintéticos, os mais abundantes nas plantas são a clorofila a e b, que possuem picos de absorção nas regiões de 430-662 nm e 453-642 nm, respectivamente. Além destes dois tipos principais os organismos fotossintéticos possuem ainda pigmentos acessórios, com a função de transferência de energia para as moléculas de clorofila, os quais são denominados carotenóides (carotenos e xantofilas). Estes possuem bandas de absorção na faixa de 400-500 nm e também ajudam a proteger os organismos de danos causados pela alta intensidade luminosa (Taiz & Zeiger, 2009).

Existem ainda pigmentos fotossintéticos que estão presentes em organismos fotossintéticos “alternativos” como algas vermelhas e algumas bactérias fotossintéticas, entre

eles estão as ficoeritrina (cor avermelhada), ficocianina (cor azul) e bacterioclorofila (Zhou et al., 2015; Kim et al., 2004).

O teor destes pigmentos fotossintéticos influencia no tempo de conservação de prateleira, em especial para algumas brassicas, pois o teor de clorofila a e b em plantas de brócolis foi maior quando as plantas foram armazenadas sob luz branca e azul, uma vez que o amarelecimento das folhas devido a redução do conteúdo de clorofila é o principal sinal de deterioração (Hasperué et al., 2016).

De acordo com Melo & Alvarenga (2009), sob espectro de radiação na faixa do azul (400-500 nm) plantas de *Catharanthus roseus* cv. 'Pacifica White' apresentaram maior teor de clorofila total quando comparadas com as plantas sob o espectro do vermelho (> 590nm), isto devido o espectro de luz azul promover a síntese de proteínas do aparato fotossintético e o desenvolvimento de plastídios do cloroplasto.

Do mesmo modo, Martins et al. (2010) também observaram que o espectro de luz da região do azul (400-500 nm) promoveu maiores teores de clorofila a, b e total que o espectro de luz vermelha-alaranja (> 590 nm) em plantas de *Ocimum gratissimum* (alfavaca-cravo).

O teor de pigmentos acessórios também é influenciado pelo espectro de luz, uma vez que Zhou et al. (2015) observaram que o teor de carotenóides e de bacterioclorofila, pigmento fotossintético presente em bactérias, foram maiores sob luz amarela, branca e azul. Desse modo, estes espectros de luz proporcionaram maiores produções de carotenóides e bacterioclorofila, o que resultou em maior eficiência fotossintética devido aos maiores teores de pigmentos fotossintéticos e a maior transferência de energia das moléculas de carotenóides para as moléculas de bacterioclorofila.

O espectro de luz azul + vermelho aplicados em conjunto promoveram maiores teores de clorofila total e antocianina em folhas de arroz (*Oryza sativa* L., cultivar IR1552) do que os espectros azul, verde e vermelho aplicados isoladamente. Entretanto, estes maiores teores estão diretamente relacionados ao espectro de luz azul adicional que é eficientemente absorvido e utilizado para aumentar a concentração de clorofila nas folhas (Ouzounis et al., 2015).

Do mesmo modo, Ouzounis et al. (2015) observaram que as quantidades de clorofila a e b em plantas de *Phalaenopsis* (Vivien e Purple Star) aumentaram com o uso de iluminação azul adicional. Sabe-se que a clorofila a absorve mais eficientemente na região do vermelho e a clorofila b mais eficientemente na região do azul, dessa forma não apenas determinada quantidade de luz azul será utilizada pelas plantas para formar clorofilas, mas qualquer fração de luz azul é utilizada para aumentar o teor de clorofilas. Fica assim evidente que a luz vermelha

desempenha papel importante no desenvolvimento do aparelho fotossintético, enquanto que a luz azul é responsável pela formação de moléculas de clorofila.

Pigmentos acessórios como a luteína e o β caroteno são também produzidos em maiores quantidades com adição de luz no espectro do azul (maior intensidade), isso devido este espectro promover o papel fotoprotetor da luteína e do β caroteno (Ouzounis et al., 2015).

Já o espectro de luz verde origina respostas significativamente inferiores sob o conteúdo de pigmentos fotossintéticos, pois sob neste espectro ocorre baixa absorção por clorofilas e carotenóides (Victório et al., 2007). A baixa eficiência da luz verde é decorrente da maior reflexão deste espectro de luz pela maioria das plantas clorofiladas, além do que a luz verde conduz a fixação de CO_2 nos tecidos mais internos da folha, enquanto a luz azul e vermelha contribui para fixação nos tecidos mais superficiais da folha (Klein, 1992).

Do mesmo modo, o espectro de luz vermelho reduziu significativamente os teores de clorofila a, b e total e foi cerca de 1,5 vezes menor em comparação ao espectro de luz azul e vermelha associadas (Shin et al., 2008). Isto por que a luz vermelha está mais relacionada com a taxa fotossintética e desenvolvimento do aparato fotossintético.

Entretanto, espectro de luz vermelha aumenta a razão entre a clorofila a:b já que sob este espectro ocorre maior absorção pela clorofila a e menor pela clorofila b e o aumento desta relação indica uma alteração significativa no balanço do fotossistema, e pode refletir na eficiência do processo fotossintético (Victório et al., 2007).

Dessa forma, o espectro de luz azul promove a síntese de pigmentos fotossintéticos e é responsável pelo maior teor destes pigmentos nas plantas. No espectro de luz na faixa do azul à amarelo observa-se maior teor de carotenóides, visto que esta faixa corresponde a faixa de absorção destes pigmentos fotossintéticos fotoprotetores. Já o espectro de luz vermelha está mais relacionado com a taxa fotossintética e o desenvolvimento do aparato fotossintético.

3.8.2 Influência dos espectros de luz na condutância estomática

O estado energético da folha é indicado pelo seu potencial hídrico, em que os gradientes esclarecem os fluxos de água no sistema solo-planta-atmosfera e variações neste potencial afetam a assimilação de carbono pelas plantas, pois se a planta perde água a uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte o potencial hídrico da folha diminui, o que resulta no fechamento dos estômatos e redução da fotossíntese. Portanto, nos horários mais quentes do dia

a condutância diminui para evitar que o potencial hídrico da folha atinja níveis críticos para estabilidade do sistema de transporte de água (Taiz & Zeiger, 2009).

Dessa forma, para favorecer a turgescência celular em situações de estresse as plantas diminuem a perda de água ao reduzir a condutância estomática por meio de ajustes no metabolismo celular, via acúmulo de substâncias orgânicas que contribuem com a osmorregulação (Floss, 2004).

Além destes fatores, a temperatura do ar e a luminosidade alteram a taxa fotossintética das plantas por meio da regulação das trocas gasosas durante o ciclo de desenvolvimento (Kerbaui, 2008).

Estudos relatam a influência da intensidade luminosa na regulação da condutância estomática (Da Costa & Marengo, 2007; Schock et al., 2014), no entanto, atualmente tem-se observado grande influência do efeito dos espectros de luz na regulação do movimento estomático nas folhas (Arena et al., 2016).

Várias características dos movimentos estomáticos são dependentes do espectro do azul, que promove uma resposta rápida e reversível localizada nas células-guardas durante todo o ciclo da planta. Este espectro de luz modula a osmorregulação nestes tipos de células não somente pela ativação do bombeamento de prótons, mas também estimulação da síntese de solutos orgânicos (Taiz & Zeiger, 2009).

Entretanto, um espectro de luz verde (490-580 nm) promove a reversão da abertura estomática estimulada pela luz azul. Esta reversão é promovida pela zeaxantina, onde um isômero ativo é convertido em isômero inativo, revertendo o sinal de abertura estimulado pela luz azul (Taiz & Zeiger, 2009).

Dessa forma, Muneer et al. (2014) relataram que em plantas de alface (*Lactuca sativa* L.) sob o espectro de luz azul na intensidade de $238 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ocorreu maior indução da condutância estomática do que as plantas cultivadas sob o espectro vermelho. Observaram ainda que sob o espectro de luz verde a condutância estomática foi reduzida em comparação com os espectros vermelho e azul.

Também foi observado maior condutância estomática em plantas de tomate e plântano oriental quando as plantas foram irradiadas com a presença de luz azul, isto por que o espectro de luz azul induz a abertura dos estômatos e favorece assim a condutância estomática (Arena et al., 2016).

Borowski et al. (2015) observaram também que quando adicionado um feixe de luz azul a condutância estomática aumentou proporcionalmente a intensidade deste espectro de luz.

Além disso, o uso de protetor físico que intensifica o espectro de radiação azul promoveu menor variação da condutância estomática nas folhas ao longo do ciclo de cultivo em plantas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) (Klein et al., 2016).

A aplicação de luz adicional no espectro do azul também promoveu maior condutância estomática nas folhas plantas de alface em relação ao cultivo sob luz solar, este aumento da condutância estomática é possivelmente devido as fototropinas, criptocromos (receptores de luz azul), e ao envolvimento da zeaxantina (Ouzounis et al., 2015).

Em plantas de *Chrysanthemum morifolium* (Rosa) o aumento da relação azul/vermelho proporcionou maior condutância estomática, isto por que o espectro de luz azul aumenta o número de estômatos, o que pode também contribuir para o aumento da condutância (Ouzounis et al., 2014).

Dessa forma, a condutância estomática é favorecida quando as plantas são irradiadas sob o espectro de luz azul, pois este espectro modula a osmorregulação tanto pela ativação da bomba de prótons quanto pela produção de solutos orgânicos.

3.9 Caracterização das plantas C4

A produção de compostos orgânicos nas plantas é resultante do metabolismo fotossintético do carbono, sustentado pelo ATP e NADPH, gerados durante a etapa fotoquímica da fotossíntese, onde a formação destas moléculas orgânicas para manutenção e crescimento das plantas tem início com a reação de fixação de CO₂ (Kerbaudy, 2008).

No ciclo fotossintético C4 o mecanismo concentrador de CO₂, assegurado pela alta atividade carboxilativa da PEPcarboxilase, garante uma alta concentração de CO₂ nas células da bainha. Dessa forma, predomina nas células da bainha, a atividade carboxilase da rubisco (RuBP) e uma menor taxa de fotorrespiração, porque a alta concentração de CO₂ compete melhor, pela enzima e pelo substrato (RuBP), que são fortemente integradas as adaptações anatômicas especiais, conhecidas em seu conjunto como anatomia do tipo kranz, que consiste em uma anatomia foliar diferenciada, baseada num ciclo de carboxilação e descarboxilação distribuída entre dois tipos diferenciados de células fotossintéticas: células do mesófilo e da bainha do feixe vascular (Kerbaudy, 2008).

Nas plantas C4 como o milho, cana-de-açúcar e gramíneas tropicais o CO₂ é fixado no citoplasma do mesófilo pela reação catalisada pela fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP case) formando o primeiro composto estável de quatro carbonos (oxaloacetato), que pode ser

reduzido a malato com a utilização do NADPH ou pode ser transaminado a aspartato, que são transportados até as células da bainha do feixe vascular, onde são descarboxilados, para liberar o CO² e produzir o piruvato (Taiz & Zeiger, 2009).

De acordo com os mesmos autores, o CO₂ é posteriormente liberado e incorporado ao ciclo de calvin, através da rubisco e o piruvato resultante retorna as células mesofílicas, onde é utilizado para regeneração da molécula primária que reage com o CO₂ (fosfoenolpiruvato), para regenerar o acceptor inicial do CO₂. (Taiz & Zeiger, 2009).

A alta eficiência de produção das plantas C4 deve-se ao fato de essas plantas absorverem eficientemente o CO₂ mesmo que em baixas concentrações, devido a PEPcarboxilase ter maior afinidade pelo CO₂ que a Rubisco do ciclo C3. As plantas C4 apresentam uma temperatura ótima para a realização da fotossíntese muito mais alta que para as plantas C3, e são mais bem adaptadas a extremos de luminosidade e seca (Kerbaudy, 2008).

Em plantas C4 a assimilação máxima de CO₂ ocorre na faixa de 30-40 °C, já em plantas C3 atinge valores máximos na faixa de 20-30 °C, além de ocorrer maior inibição fotossintética em altas concentrações de O₂. Dessa forma, os ambientes mais quentes tendem a favorecer o desenvolvimento de plantas C4, enquanto que o aumento dos níveis de CO₂, favorecem a presença de espécies C3 (Franco et al., 2014).

Guerra et al. (2014) relataram que a taxa fotossintética bruta de plantas de cana-de-açúcar, no estágio inicial de desenvolvimento, varia de acordo com a temperatura do ar de 760 μmol de CO₂ dia⁻¹ no tratamento com temperatura média (23-29 °C), 261 μmol de CO₂ dia⁻¹ no tratamento com temperatura baixa (13-19 °C) e de 476 μmol de CO₂ dia⁻¹ no tratamento com temperatura alta (27-33 °C).

Neste contexto, Martinez et al. (2015) relataram que a concentração de CO₂ não limita a fotossíntese em plantas C4, pois possuem duas enzimas que fixam o CO₂: a FosfoenolPiruvato Carboxilase (PePcase) e a Rubisco. Portanto, essa dupla fixação do CO₂ enriquece o sítio onde ocorre a fixação, aumenta as taxas de fixação do carbono e diminui a possibilidade de fotorrespiração. Por isso, as plantas C4 não respondem aos incrementos na concentração de CO₂ como as plantas C3.

O papel que a intensidade de radiação solar exerce sobre a fotossíntese em plantas C3 e C4 é bastante diferenciado (Figura 4A), quando a intensidade luminosa supera cerca de 200 μmol m⁻² s⁻¹, não acarreta mais um incremento proporcional na fotossíntese líquida. Quando esta intensidade luminosa atinge valores de 600 à 1200 μmol m⁻² s⁻¹, a fotossíntese em plantas C3 permaneceu constante e as plantas alcançaram a saturação luminosa, já as plantas C4 não

saturam com o aumento da intensidade luminosa, o que proporciona um aumento crescente até taxas máximas de fluência de fótons na superfície terrestre (Kerbaux, 2008).

A produtividade quântica é a razão da assimilação de CO_2 pelo número de fótons absorvidos pelas plantas (Figura 4B). Em torno de 30°C a eficiência quântica de plantas C3 e C4 é semelhante, já em temperaturas maiores que 30°C esta eficiência é mais baixa em plantas C3. Tanto para as plantas C3 como para as plantas C4, este comportamento pode ser explicado pelos níveis de fotorrespiração em cada tipo fotossintético. Onde, nas plantas C4 a fotorrespiração é praticamente inexistente, já nas C3 a fotorrespiração aumenta com o aumento da temperatura devido ao aumento da atividade oxigenase da rubisco (Taiz & Zeiger, 2009).

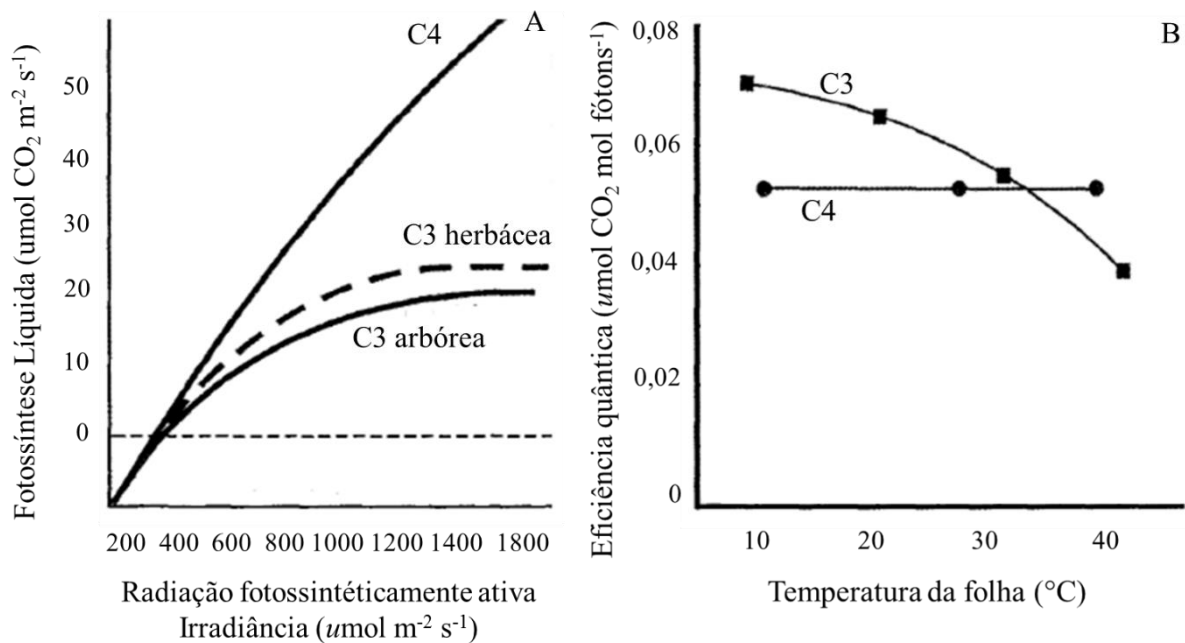


Figura 4. A- Fotossíntese líquida em plantas C3 e C4 em função da intensidade luminosa (Larcher, 2000, modificado por Kerbaux, 2008); B- Eficiência quântica de plantas C3 e C3 em função da temperatura foliar. (Leegood, 1993, modificado por Kerbaux, 2008).

Em síntese, a fotossíntese de plantas C4 é mais eficiente que em plantas C3 em ambiente mais quentes e iluminados como em climas tropicais, onde a base central dessa adaptação é o mecanismo concentrador de CO_2 e as taxas de fotorrespiração das plantas C3 em temperaturas elevadas.

Esses resultados mostram que o tipo de malha de sombreamento a ser utilizada no ambiente protegido promove alterações nos elementos micrometeorológicos e proporciona alterações morfofisiológicas nas plantas.

4 Metodologia

4.1 Etapa 1: Produção de mudas em ambiente protegido

O experimento foi conduzido em duas etapas (Etapa 1 e 2), a primeira com início em 17 de setembro de 2016 e que correspondeu ao período de produção de mudas em ambiente protegido. Já a segunda foi o transplântio das mudas para o campo, com início em 17 de novembro de 2016. Ao final da primeira etapa, as mudas foram colocadas em aclimação durante 20 dias, onde após este período as mesmas foram levadas para o transplântio a campo aberto.

A primeira etapa da pesquisa foi realizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), no município de Recife, Pernambuco, latitude de 8° 04'03" S, longitude de 34° 55'00" W e altitude de 4 metros (Figura 5.). O clima é caracterizado como megatérmico (As') com precipitação de inverno e com estação seca do verão até outono, com temperatura média anual de 25,2 °C, segundo classificação de Köppen (Pereira et al., 2002).

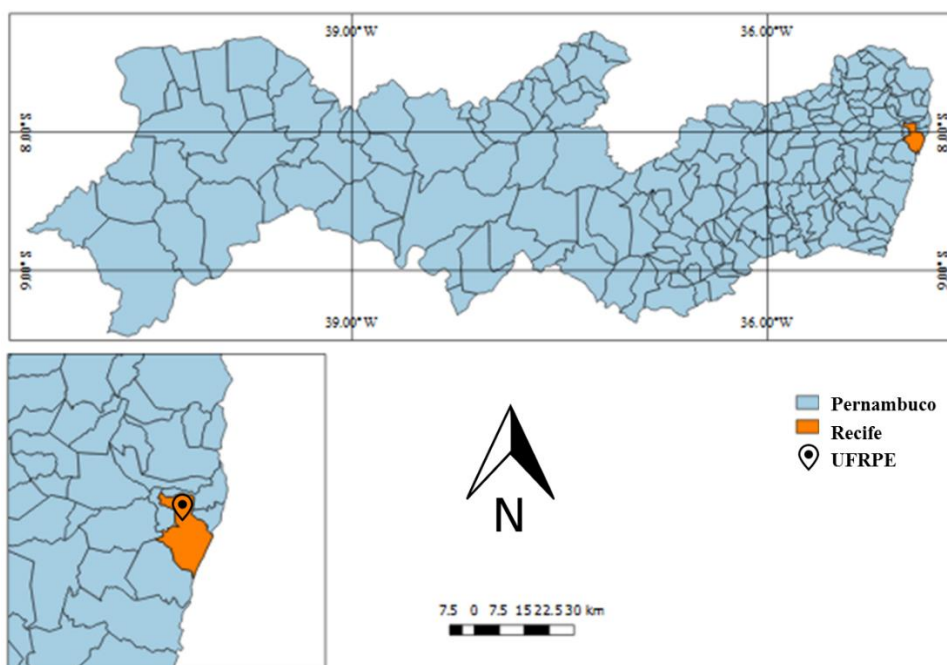


Figura 5. Localização da unidade experimental. Recife, 2018.

O ambiente protegido foi do tipo arco, coberto com polietileno de baixa densidade (PEBD) com aditivo anti-uv, tela com fator de 50% de sombreamento nas laterais, e as

dimensões de 21 m de comprimento, 7 m de largura, 3 m de altura de pé direito, 4,5 m de altura total e área total de 147 m².

O material vegetal foi obtido por meio da técnica de produção de mudas pré-brotadas (MPB). Foram utilizadas 5 bandejas por parcela experimental (Figura 6), no total de 20 parcelas e 100 bandejas para produção de mudas. O substrato utilizado foi o pó de cocó. A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi RB92579, que possui ótimo perfilhamento, alta produtividade agrícola (até 260 t ha⁻¹) e elevado teor de açúcares totais recuperáveis. As mudas foram fertirrigadas com solução nutritiva, sua aplicação foi iniciada do 1º dia após a emergência até o fim do ciclo de produção da muda.

A produção e manejo das mudas pré-brotadas foi realizada de acordo com metodologia proposta por Landell et al. (2013), descrita a seguir.

Produção das mudas e tratamento fitossanitário: Ocorreu no primeiro dia do processo de produção, em que as gemas foram individualizadas com um equipamento tipo guilhotina. Eliminaram-se as gemas danificadas, realizando constantemente a desinfecção do equipamento utilizado para fazer o corte dos minirrebolos. Posteriormente o material passou por tratamento térmico, 50°C por 2 horas, contra o raquitismo da soqueira. Os minirrebolos passaram ainda por tratamento com fungicida, para prevenir o ataque de patógenos durante o período de aclimatização. Após o tratamento fitossanitário, os minirrebolos foram novamente selecionados e acondicionados em recipientes para brotação.

Na brotação, as bandejas foram acondicionadas em ambiente protegido. Foram adotadas irrigações a cada 2 dias, no início do processo de brotação, visando evitar o apodrecimento do material propagativo. As mudas permaneceram nesta fase até os 12 dias após plantio (DAP). Aos 20 DAP foi realizada uma poda, para favorecer o desenvolvimento do sistema radicular.

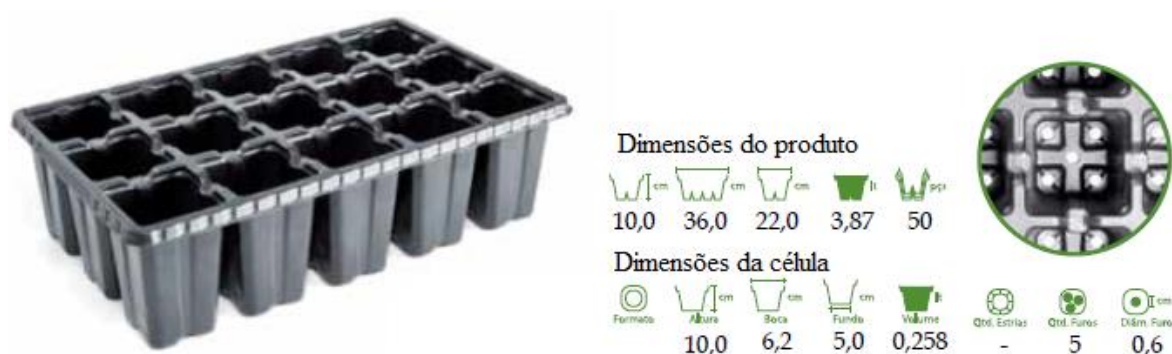


Figura 6. Dimensões da bandeja e da célula para produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Fonte: nutriplan. Recife, 2018.

A produção de mudas foi conduzida em 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 (Figura 7).

Esse sistema consiste em uma plataforma de cultivo com um reservatório de água, uma bomba submersa e um timer analógico. O timer foi programado para acionamento da bomba uma vez ao dia às 7 hs, impulsionando a solução nutritiva por 15 minutos até a parte mais alta da plataforma de cultivo, a solução desce por gravidade em forma de lâmina até a cota inferior, então a solução retorna ao reservatório. As bandejas preenchidas com o substrato que se encontram sobre a bancada absorveram a solução nutritiva por capilaridade permitindo sua distribuição no meio poroso devido ao gradiente hidráulico, permanecendo sempre na capacidade de campo. Uma das principais vantagens é a manutenção da folhagem seca, o que reduz a incidência de doenças e maximiza a eficiência de utilização da água.

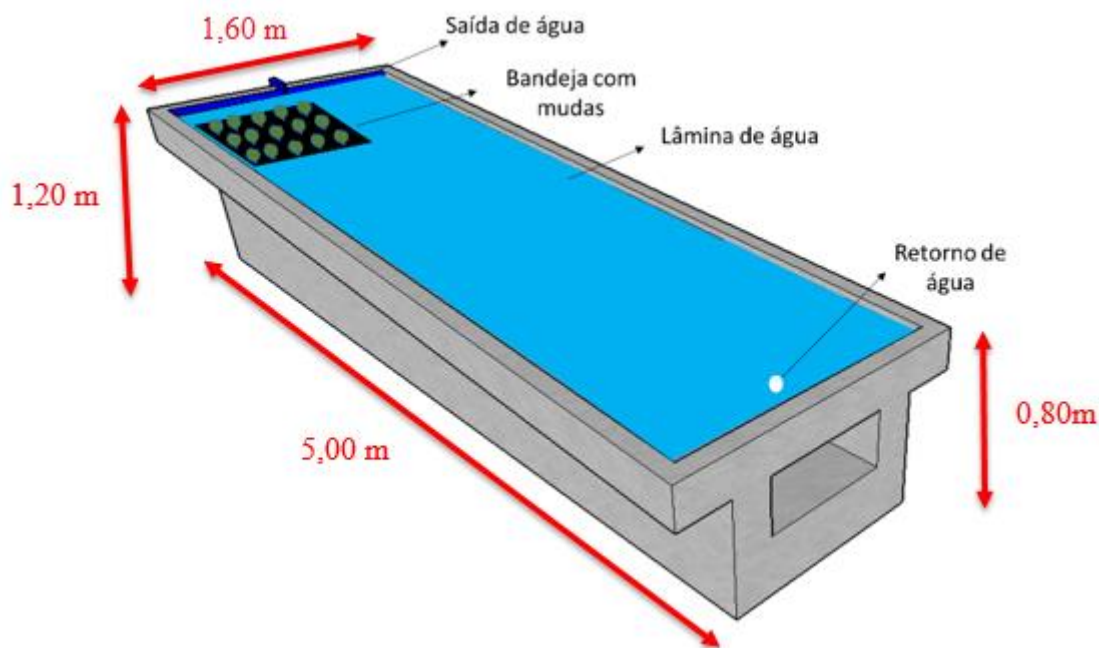


Figura 7. Dimensões da bancada e sistema de irrigação por capilaridade. Recife, 2018.

O ambiente protegido foi dividido em quatro módulos: PEBD antiUV + malha ultranet vermelha Solpack[®] com 35 % de sombreamento (PEBD antiUV + ultranet vermelha), PEBD antiUV + malha branca Solpack[®] 50 % de sombreamento (PEBD antiUV + branca), PEBD antiUV + malha termorrefletora freshnet Solpack[®] 50 % de sombreamento (PEBD antiUV +

freshnet) e PEBD antiUV sem malha de sombreamento (PEBD antiUV). As malhas foram posicionadas a 0,15 m de altura nos primeiros 12 dias após plantio (DAP) e foram elevadas para 1 m durante os 28 dias seguintes (13 aos 40 DAP) (Figura 8).

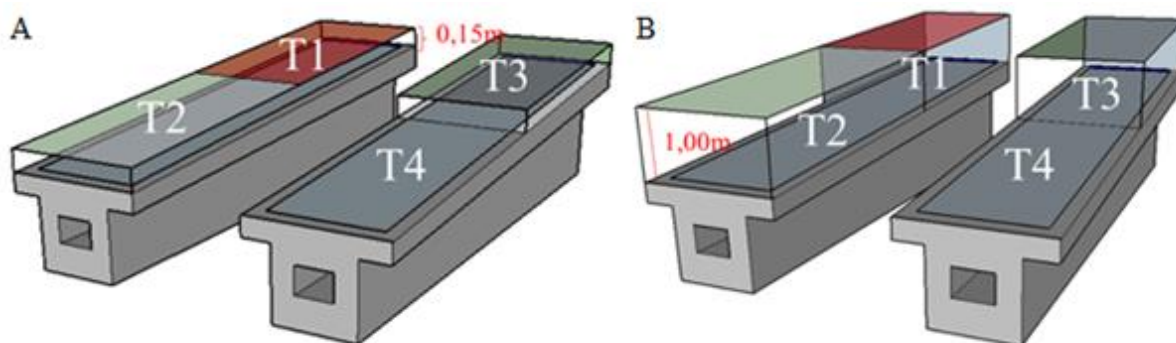


Figura 8. Posições das malhas fotosselativas nos primeiros 12 DAP (A, 0,15 m) e durante os 13 aos 40 DAP (B, 1,00 m). PEBD antiUV + malha ultranet vermelha Solpack[®] com 35% de sombreamento (T1), PEBD antiUV + malha branca Solpack[®] com 50% de sombreamento (T2), PEBD antiUV + malha termorrefleitora freshnet Solpack[®] com 50 % de sombreamento (T3) e PEBD antiUV + sem malha de sombreamento(T4). Recife, 2018.

Os tratamentos foram avaliados com relação à temperatura do ar (T_{ar} , °C), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (R_g , $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ e $W\ m^{-2}$) e fotossinteticamente ativa (RFA, $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ e $W\ m^{-2}$), os dados registrados nos ambientes protegidos foram comparados com aqueles medidos externamente, em que foram considerados os valores médios registrados nos módulos do ambiente protegido e no ambiente externo.

Para caracterização quanto à disponibilidade energética em cada ambiente e no ambiente externo foram utilizados sensores, que possibilitam o registro contínuo dos dados micrometeorológicos: T_{ar} (sensor CS215), UR (sensor CS215), R_g (sensor CMP3 Pyranometer LI200/R; 400-1100 nm) e RFA (sensor LI190SB Quantum; 400-700 nm), conectados a um sistema de aquisição de dados tipo *Datalogger* Campbell[®] (modelo CR1000). Os sensores foram instalados no centro geométrico do ambiente protegido, ou seja, metade do comprimento, metade da largura e a uma altura de 1,5 m do solo. A temperatura do substrato (T_{subs} , °C) e a temperatura do ar (T_{ar} , °C) de cada módulo de cultivo foram registradas por meio de mini dataloggers HOBOWare[®], instalados no centro geométrico de cada módulo de cultivo. Os dados foram aferidos a cada segundo e registradas as médias em intervalos de 15 min e diários, até a obtenção das mudas para o transplântio.

A partir das médias diárias de temperatura do ar (T_{ar}) obtidas nos módulos de cultivo e no ambiente externo, foram determinadas as variações da T_{ar} em relação ao ambiente externo

($\Delta T_{\text{Tar ext}}$, %) e em relação ao módulo PEBD antiUV ($\Delta T_{\text{Tar PEBD}}$, %). Da mesma forma foram determinadas as variações diárias entre a temperatura do substrato (T_{subs}) nos módulos de cultivo em relação a respectiva Tar ($\Delta T_{\text{subs-Tar}}$, %). Além disso, as variações de 15 min foram avaliadas e estabelecidas as relações por análise de regressão simples.

A partir dos dados médios diários da radiação solar global (R_g) obtidos nos ambientes, foram determinadas as transmitâncias de cada módulo com relação ao ambiente externo e a porcentagem de sombreamento real de cada malha fotosselativa, para esta tomou-se como referência o módulo interno PEBD antiUV. Com os dados médios diários de radiação fotossinteticamente ativa foram também determinadas as transmitâncias e a porcentagem de sombreamento real em relação ao módulo com PEBD antiUV.

Além disso, as variações de 15 min ao longo de todo o período foram avaliadas e determinadas a relações entre a radiação solar global (R_g) registrada nos módulos estudados com a R_g registrada no ambiente interno e no ambiente externo por meio de regressões lineares simples. Para RFA foram estabelecidas as variações a cada 15 min, longo de todo o período, entre os módulos estudados por análise de regressão linear simples. Já para UR foram determinadas as relações entre os módulos de cultivo, variações diárias, e foi determinada a relação entre o ambiente interno e externo, a cada 15 min, por meio de regressões lineares simples.

O espectro da radiação luminosa foi determinado com espectrômetro da Ocean Optics® (USB 2000+RAD, USA), que foi conectado a um computador portátil para realizar a leitura por meio do software *Spectrasuite*®. Foram estabelecidas as proporções de cada espectro na faixa do visível (400-700 nm) e a partir destas foram estabelecidas relações com a RFA acumulada ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) para determinar a quantidade de energia de cada espectro registrado durante o ciclo de produção de mudas nos módulos de cultivo.

4.1.1 Registros das variáveis biométricas e fisiológicas

Foram realizadas desde o início do processo de brotação até a estabilização da emergência as seguintes análises:

Primeira contagem de emergência (PCE) - foram contabilizadas as plantas emergidas, aos 4 dias após plantio (DAP), considerou-se emergidas a partir do momento que o epicótilo apareceu acima da linha do solo.

Índice de velocidade de brotação (IVB) - foi calculado conforme metodologia descrita por Nakagawa (1994), aos 12 DAP.

Porcentagem de brotação (% B) - A relação entre o número de plântulas emergidas e o número de gemas plantadas, até a estabilização aos 12 DAP.

As análises não destrutivas foram realizadas, dos 13 aos 19 DAP, dos 20 aos 26 DAP, dos 27 aos 33 DAP e dos 34 aos 40 DAP, em que foram registradas as seguintes variáveis biométricas das mudas:

Área foliar (AF) foi determinada a partir da contagem do número de folhas verdes e pelas medições nas folhas + 3, sendo obtidos o comprimento e a largura da folha na porção mediana, segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999), utilizando a equação I:

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

Em que,

C= comprimento da folha +3;

L= largura da folha +3;

N= número de folhas abertas com mais de 20% de área verde.

Índice de área foliar (IAF, m² m⁻²) foi calculado como a relação entre a área foliar e a área ocupada pela planta por meio da equação II:

$$IAF= \frac{NP \cdot AF}{S} \quad (II)$$

Em que,

NP= número de perfilhos por m²;

AF= área foliar por perfilho (m²);

S= área ocupada pela planta (m²).

Diâmetro do colmo da planta (DC, mm) foi mensurado com auxílio de paquímetro digital.

Altura da planta (ALT, cm) foi contabilizada por meio de medição direta, com régua graduada, de uma amostra de 10 plantas.

Número de folhas (NF) foram contabilizadas manualmente.

A taxa de crescimento absoluto em altura (TCA) foi determinada por meio da equação III proposta por Paulino (2009), que fornece a estimativa da taxa de crescimento das mudas em cm dia⁻¹:

$$TCA = (L_2 - L_1) / t_2 t_1 \dots \dots \dots (III)$$

Em que,

L_1 = média de altura no tempo 1 (cm);

L_2 = média de altura no tempo 2 (cm);

t_2-t_1 =intervalo de tempo entre as coletas (dias).

A taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC) em cm dia^{-1} foi estimada pela metodologia proposta por Paulino (2009), equação IV:

$$TCADC = D_1 - D_2 / t_1 - t_2 \dots\dots\dots(IV)$$

Em que,

D_1 =diâmetro do colmo no tempo 1 (cm);

D_2 = diâmetro do colmo no tempo 2 (cm);

t_2-t_1 =intervalo de tempo entre as coletas (dias).

A taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF) foi calculada por meio da equação V proposta por Paulino (2009), que fornece a estimativa do aumento do tamanho do fitossistema ($\text{cm}^3 \text{dia}^{-1}$):

$$TCAMF = (L_2 D_2^2 - L_1 D_1^2) / t_1 - t_2 \dots\dots\dots(V)$$

Em que,

L_1 = média de altura no tempo 1 (cm);

L_2 = média de altura no tempo 2 (cm);

D_1 =diâmetro do colmo no tempo 1 (cm);

D_2 = diâmetro do colmo no tempo 2 (cm);

t_2-t_1 =intervalo de tempo entre as coletas (dias).

Ao final da etapa 1 (40 DAP) o material vegetal foi coletado, identificado e processado para determinação das variáveis destrutivas (biométricas e fisiológicas):

Comprimento do sistema radicular (CR, cm): contabilizado por meio de medição direta de uma amostra de 10 plantas.

Volume do sistema radicular (VR, cm^3): contabilizado com proveta graduada, onde o volume de raiz é dado pela diferença entre o volume inicial e o volume final, após imersão das raízes em uma proveta.

Peso da massa seca da parte aérea e raiz (PMSPA e PMSR, g kg^{-1}): retirada a planta com raiz e submeteu-as a estufa de circulação de ar a 60°C , para pesagem 72 horas depois, segundo Vieira & Carvalho (1994).

Foram selecionadas previamente folhas completamente expandidas com características bem uniformes quanto à cor, maturidade e tamanho, para determinação condutância estomática ($gs, mmol m^{-2} s^{-1}$) registrada através do porômetro digital LI-1600 LI-CO.

O teor de água das plantas (TRA) foi determinado a partir da metodologia proposta por Turner (1981), onde necessita da obtenção da massa fresca, massa túrgida e massa seca das amostras. Para obter a massa túrgida das amostras, após a determinação da massa fresca, cerca de 10 amostras de 1 cm de diâmetro foram mergulhadas placa de petri com água destilada e tampadas, durante 24 horas, até a turgidez dos tecidos. Nessa base, o teor relativo de água foi calculado por meio da equação VI.

$$tra (\%) = [(m_f - m_s)/(m_t - m_s)] \times 100 \quad (VI)$$

Em que,

tra= teor relativo de água;

m_f = massa fresca;

m_s = massa seca;

m_t = massa túrgida.

O teor de clorofila a (Chl a) e clorofila b (Chl b) foi determinado pelo método espectrofotométrico, através da metodologia descrita em Bezerra Neto & Barreto (2011), onde utilizou-se amostras de folhas frescas, removeu-se as nervuras, transferiu-as para tubos de ensaio, adicionou-se acetona a 80 % para fazer as leituras, no espectrofotômetro, das amostras nos comprimentos de ondas de 645 nm e 663 nm. Posteriormente calculou-se a concentração de clorofila a e clorofila b com o auxílio das equações VII e VIII:

$$Clorofila_a \text{ } mgL^{-1} = 12,71 A_{663} - 2,59 A_{645} \quad (VII)$$

$$Clorofila_b \text{ } mgL^{-1} = 22,88 A_{645} - 4,67 A_{663} \quad (VIII)$$

Em que,

A_{663} = absorbância a 663 nm;

A_{645} = absorbância a 645 nm.

Relação clorofila a e b (Chl a/b), expressa pela divisão algébrica dos teores de clorofila a pelos teores de clorofila b.

Para determinar o teor total de carotenoides (CAROT.), seguiu-se a mesma metodologia de preparo da amostra para determinação do teor de clorofila, e utilizou-se a equação IX, proposta por Linchenthaler & Wellburn (1983).

$$C_{x+c} = 1000A_{470} - 2,05 C_a - 114,8 C_b / 245 \quad (\text{IX})$$

Em que,

C_{x+a} = total de carotenoides;

C_a = teor de clorofila a;

C_b = teor de clorofila b;

A_{470} = absorvância a 470 nm.

O teor de carboidratos solúveis totais (C.S.T.) e sacarose (SAC) foram determinados de acordo com as metodologias descritas em Bezerra Neto & Barreto (2011). Onde, preparou-se os extratos das amostras pré-secas, removeu-se as nervuras, homogeneizou-as e foram transferidas para tubo de ensaio, adicionou-se o reagente de “antrona” e os colocou em “banho-e-maria” e banho-de-gelo, seguidamente. Posteriormente, transferiu-se o conteúdo para uma cubeta espectrofotométrica de 1,0 mL e foi feita a leitura em espectrofotômetro a 620 nm. Foi confeccionada uma curva padrão, por meio de solução padrão de glucose, para o teor de carboidratos solúveis totais e outra curva, por meio da solução padrão de sacarose, para o teor de sacarose nas concentrações respectivas de 25, 50, 100, e 200 mg.L⁻¹.

Ao final do ciclo de produção da muda foi determinado o índice de qualidade de mudas de Dickson (IQD), por meio da equação X (Dickson et al., 1960). No cálculo de índice de qualidade de Dickson (IQD) foi considerada robustez e o equilíbrio de distribuição de fitomassa da muda, para comparar resultados de atributos importantes na avaliação de sua qualidade.

$$\text{IQD} = \frac{\text{PMST (g)}}{H \text{ (cm)}/DC \text{ (mm)} + \text{PMSPA (g)}/\text{PMSR (g)}} \quad (\text{X})$$

Em que,

H= altura da parte aérea (cm);

DC= diâmetro do colmo (mm);

PMSPA= matéria seca da parte aérea (g planta⁻¹);

PMSR= matéria seca das raízes (g planta⁻¹);

PMST= matéria seca total (g planta⁻¹).

4.1.2 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro fatores de variação e cinco repetições, que totalizou 20 parcelas experimentais (Figura 9). Cada parcela experimental foi composta de 75 mudas, com total de 1500 mudas. Na Tabela 1, observa-se a análise de variância, em que o número de graus de liberdade do resíduo foi maior que 10 (GL = 16), o que atende os pressupostos para experimentação estatística (Ferreira, 2000).

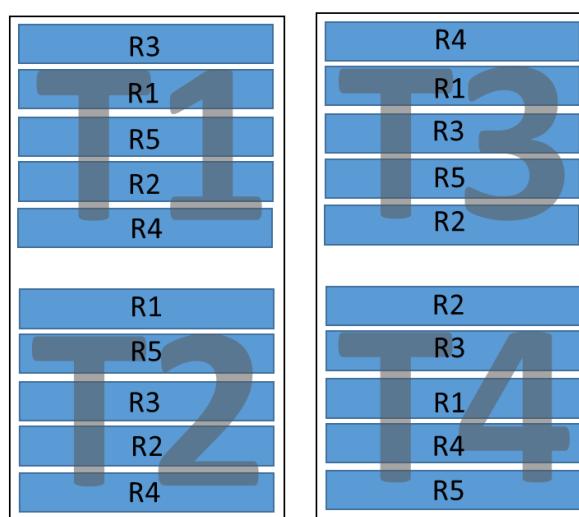


Figura 9. Esquema de distribuição dos tratamentos nas bancadas. T1- PEBD antiUV + malha ultranet vermelha Solpack® com 35 % de sombreamento, T2- PEBD antiUV + malha branca Solpack® com 50 % de sombreamento, T3- PEBD antiUV + malha freshnet Solpack® com 50 % de sombreamento e T4- PEBD antiUV sem malha de sombreamento. Recife, 2018.

Tabela 1. Análise de variância. Recife, 2018.

Fatores de Variação	Fórmula*	Graus de liberdade (GL)
Tratamento	$t - 1$	$4 - 1 = 3$
Resíduo	$t (r - 1)$	$4 (5 - 1) = 16$
Total	$t \times r - 1$	$4 \times 5 - 1 = 19$

*t = tratamento; r = repetição.

Para analisar a associação entre os módulos de cultivo, as variáveis micrometeorológicas, biométricas e fisiológicas da cultura, foi utilizada a análise multivariada de componentes principais baseada na matriz de correlação entre todas as variáveis. Os dados submetidos a análise multivariada foram previamente estandardizados, uma vez que existe grande variação devido a ordem de grandeza das diversas variáveis.

O efeito das malhas fotosselativas foi avaliado quanto a radiação solar global, radiação fotossinteticamente ativa, temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura do substrato, posteriormente os dados micrometeorológicos registrados a cada 15 min nos módulos de cultivo

foram comparados com aqueles medidos externamente e foi estabelecida a relação entre eles por análise de regressão linear simples.

4.2 Etapa 2: Rustificação e Transplântio

A segunda etapa da pesquisa foi realizada 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 metros. 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 (Pereira et al., 2002).

Após o período de produção de mudas, cerca de 40 mudas por parcela foram retiradas das bandejas no ambiente protegido, acondicionadas em caixas de plástico e colocadas em processo de rustificação a pleno sol (Figura 10). Nesta fase as mudas permaneceram em rustificação por um período de 20 dias, em que comumente foram realizadas podas diárias e uma irrigação com lâmina de 4 mm. A irrigação foi realizada manualmente com auxílio de irrigador manual de 5 litros.

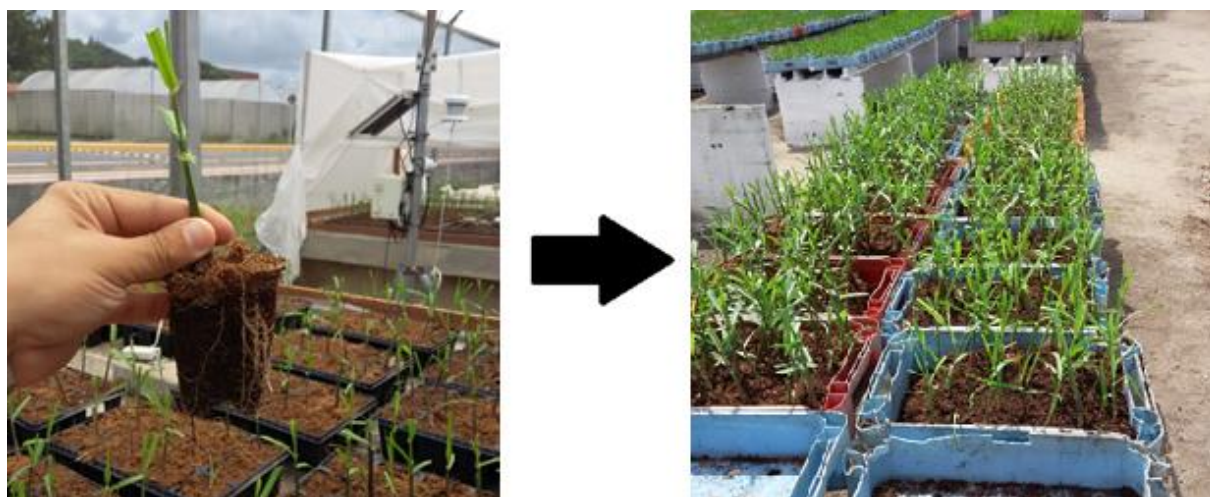


Figura 10. Caixa de aclimatização de mudas de cana-de-açúcar a pleno sol. Recife, 2018.

Após os 20 dias da rustificação, com o material vegetal já completamente formado, as mudas foram levadas para o campo. No total, o tempo decorrido desde a ocasião do início do processo de produção de mudas até estarem aptas para o transplântio no campo foi de 60 DAP.

A área do experimento foi previamente irrigada e adubada para poder receber as mudas. A adubação foi realizada de acordo com análise de solo, onde foram aplicados 12 kg.ha⁻¹ de N, 24 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 18 kg.ha⁻¹ de K₂O.

O plantio foi realizado em linhas espaçadas de 1,5 m, com um espaçamento entre plantas de 0,5 m. Cada parcela experimental foi composta por 4 linhas de 10 plantas (Figura 11).

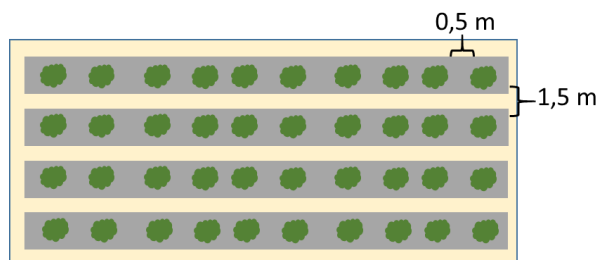


Figura 11. Parcela experimental de campo com mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Recife, 2018.

No estágio inicial de estabelecimento das mudas em campo, até os 15 dias após o transplante (DATP), foram realizadas irrigações diárias com uma lâmina de 4 mm dia⁻¹. Nos meses seguintes as plantas de cana-de-açúcar foram cultivadas em regime de sequeiro.

As parcelas experimentais corresponderam as mudas obtidas na etapa 1, o que consistiu em mudas produzidas nos módulos: PEBD antiUV + malha ultranet vermelha Solpack[®] com 35% de sombreamento (PEBD antiUV + ultranet vermelha), PEBD antiUV + malha branca Solpack[®] 50% de sombreamento (PEBD antiUV + branca), PEBD antiUV + malha termorrefletora freshnet Solpack[®] 50% de sombreamento (PEBD antiUV + freshnet) e PEBD antiUV sem malha de sombreamento (PEBD antiUV).

Os dados meteorológicos referentes à radiação solar global (R_g, MJ m⁻² dia⁻¹), precipitação pluvial (mm), temperatura do ar média (T_{ar}, °C) e velocidade do vento (v_v, m s⁻¹) dos meses de condução do experimento foram obtidos da agência Pernambucana de águas e clima (Apac, 2017).

4.2.1 Registros das variáveis biométricas e fisiológicas

As variáveis analisadas nesta etapa de campo foram realizadas no final do ciclo de produção (aos 305 DATP), na ocasião da colheita do material vegetativo. Para tanto foram avaliados:

O diâmetro do colmo da planta (DC, cm) - mensurado com auxílio de paquímetro digital.

O Comprimento do colmo (CC, cm) - mensurado com régua graduada.

A altura da planta (ALT, cm) - foi contabilizada por meio de medição direta de uma amostra de 10 plantas.

Mortalidade de plantas (MT, %) - relação entre o número de mudas implantadas em cada parcela e o número de plantas que chegaram até o final do ciclo de produção.

O número de perfilhos (NPF) - contabilizado a partir do 15º dia após o transplante.

O número de nós por colmo (NNÓS) - contabilizado a partir da região do colo da planta até o último nó visível.

O teor de clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b) e carotenoides (CAROT) segundo metodologia de Bezerra Neto & Barreto (2011).

A Relação entre clorofila a e clorofila b (Chl a/b) é o resultado da divisão algébrica entre o teor de clorofila a e clorofila b.

O teor de carboidratos solúveis totais (C.S.T.) e sacarose (SAC) foram determinados de acordo com as metodologias descritas em Bezerra Neto & Barreto (2011).

A produtividade foi expressa em tonelada de cana por hectare (TCH, t ha⁻¹), utilizando-se a equação XI proposta por Oliveira et al. (2014):

$$TCH = D^2 \times C \times H \left(0,007854/E \right) \dots\dots\dots (XI)$$

Em que,

D = diâmetro do colmo (cm);

C = número de colmos por metro linear;

H = comprimento médio dos colmos (cm);

E = espaçamento entre sulcos.

4.2.2 Delineamento experimental e análise estatística

A etapa de campo foi instalada em delineamento em blocos casualizados, com quatro fatores de variação e cinco repetições, que totalizou 20 parcelas experimentais (Figura 12). Cada parcela experimental foi composta por 40 mudas, com total de 800 mudas.

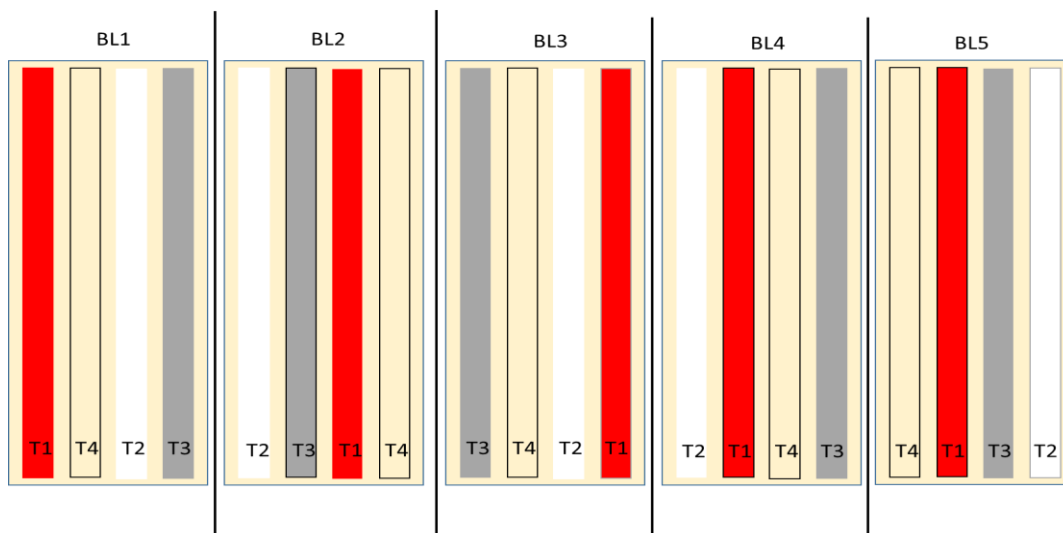


Figura 12. Croqui da área experimental, PEBD antiUV + malha ultranet vermelha Solpack® com 35 % de sombreamento (T1), sob PEBD antiUV + malha branca Solpack® 50 % de sombreamento (T2), sob PEBD antiUV + malha termorrefletora freshnet Solpack® 50 % de sombreamento (T3) e PEBD antiUV sem malha de sombreamento (T4). Recife, 2018.

Para analisar a associação entre as variáveis biométricas e fisiológicas da cultura, foi utilizada a análise multivariada de componentes principais baseada na matriz de correlação entre todas as variáveis. Os dados submetidos a análise multivariada foram previamente estandardizados, uma vez que existe grande variação devido a ordem de grandeza das diversas variáveis.

5 Resultados e discussão

5.1 Etapa 1

5.1.1 Variáveis micrometeorológicas

5.1.1.1 Radiação solar global

A radiação solar global (R_g , $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) nos módulos localizados no interior do ambiente protegido foi menor em comparação com o ambiente externo (Tabela 2). Isto devido reflexão e absorção da R_g promovida pelos materiais de cobertura do ambiente protegido (PEBD antiUV e malhas fotosselativas) (Holcman & Sentelhas, 2013; De Araujo et al., 2016). Rebouças et al. (2014) evidenciaram que esta redução é função do ângulo de incidência dos raios solares e da transmitância do material de cobertura, o que está associado com o tipo, o tempo de uso e a cor destes materiais.

Tabela 2. Radiação solar global (R_g ; $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), porcentagem de sombreamento teórica (S teórica, %), porcentagem de sombreamento real (S real, %) e Transmitância (%) nos módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha, PEBD antiUV + branca, PEBD antiUV + freshnet e PEBD antiUV e das malhas de sombreamento. Recife, 2018.

Módulos	R_g ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)	S teórica	S real	Transmitância módulos (%)	Transmitância malhas (%)
PEBD antiUV + ultranet vermelha	8,21	35	23,12	42,07	76,87
PEBD antiUV + branca	6,33	50	40,73	32,43	59,26
PEBD antiUV + freshnet	4,74	50	55,61	24,29	44,38
PEBD antiUV	10,68	-		54,69	
Ambiente Externo	19,52	-			

No estudo presente, obteve-se menor transmitância da R_g nos módulos cobertos com PEBD antiUV + malha de sombreamento, pois a combinação do filme plástico com a malha de sombreamento aumenta reflexão dos raios solares para fora e reduz a transmitância para o interior do ambiente (Tabela 2; Figura 13) (Rampazzo et al., 2014; Ferrari & Leal, 2015).

Nota-se que a transmitância foi maior no módulo coberto com PEBD antiUV (54,69 %) e menor no módulo coberto com PEBD antiUV + freshnet (24,29 %) em relação ao ambiente externo. Corroborando com Holcman & Sentelhas (2013) que verificaram a transmitância de 56% da R_g e 43% de RFA em ambiente coberto com PEBD. A malha fotosselativa freshnet, com sombreamento teórico de 50 %, promoveu a maior porcentagem de sombreamento da R_g dentre as malhas e conseqüentemente uma maior porcentagem de sombreamento real (56 %). Isto devido esta malha possuir característica termorrefletora e com isto reduziu a transmitância R_g para o interior do módulo de cultivo (De Araujo et al., 2016).

O módulo coberto com PEBD antiUV + ultranet vermelha, com sombreamento teórico de 35 %, proporcionou a maior transmitância da R_g (42,07 %) em relação ao ambiente externo. Entre os módulos com malha de sombreamento, sob esta malha observou-se menor porcentagem de sombreamento real (23 %), uma vez que nas malhas branca e freshnet o fator de sombreamento teórico foi de 50% e real de 41 e 56 %, respectivamente (Tabela 2; Figura 13). Assim, quanto menor a porcentagem de sombreamento maior será a transmitância da R_g para o interior do ambiente protegido (Otoni et al., 2015). Além disso, independentemente do fator de sombreamento, a malha de sombreamento vermelha proporciona maior transmitância de RFA para o interior do ambiente de cultivo (Gama et al., 2017).

A FAO (2011) estabeleceu que no cultivo de mudas de cana-de-açúcar é necessário em torno de $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ de radiação solar global no interior dos ambientes protegidos (Andrade et al., 2011). Observa-se assim que o módulo coberto com PEBD antiUV + ultranet vermelha proporcionou Rg média mais próximo do recomendado para produção de mudas ($8,21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) (Figura 13).

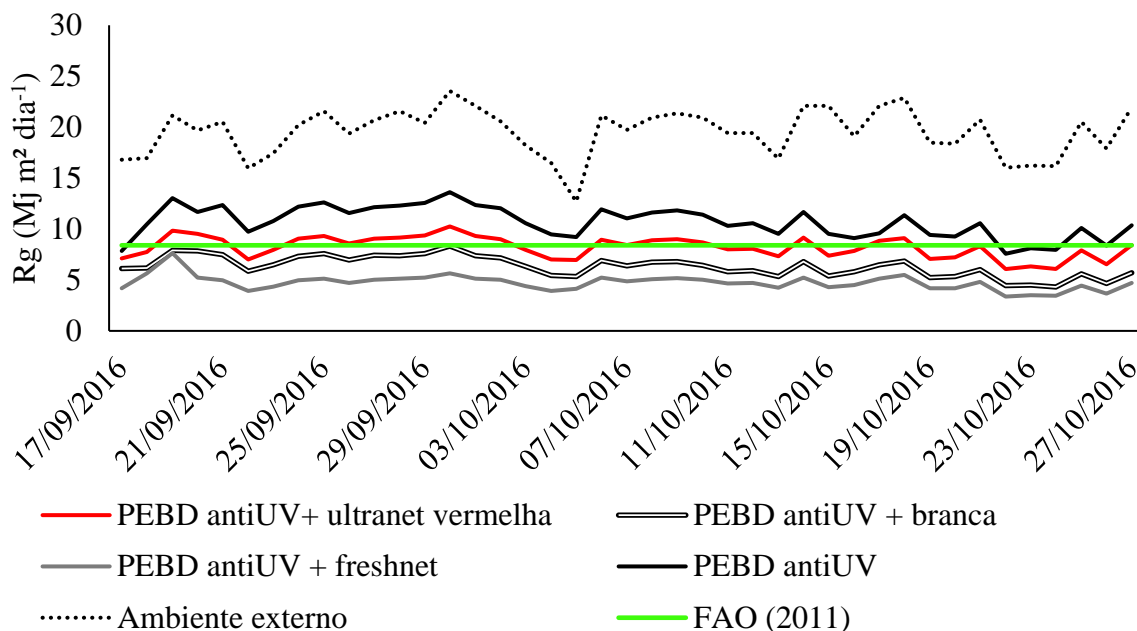
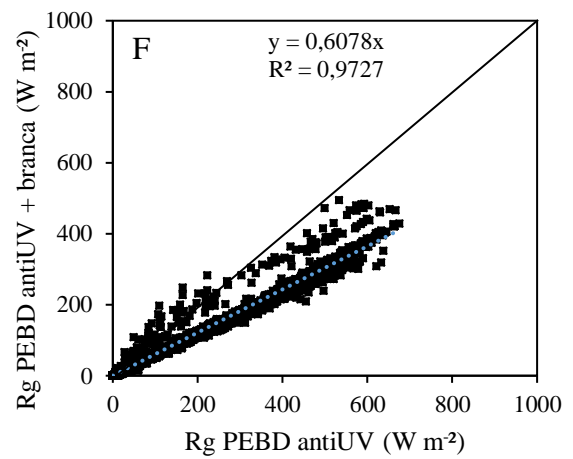
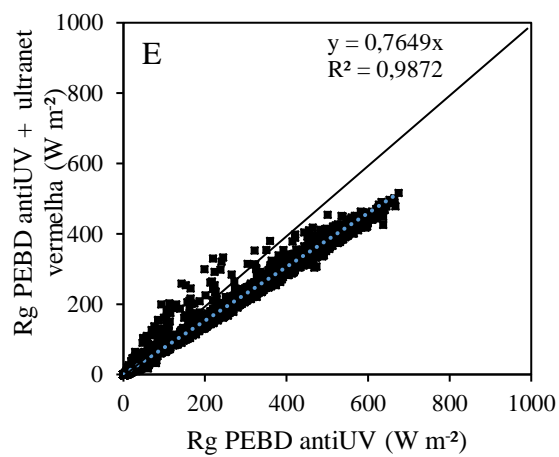
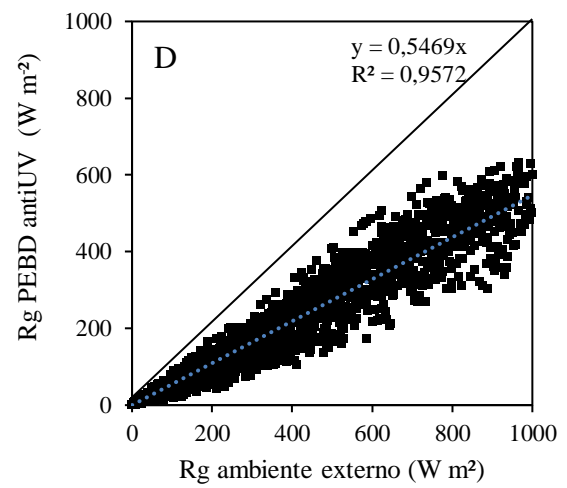
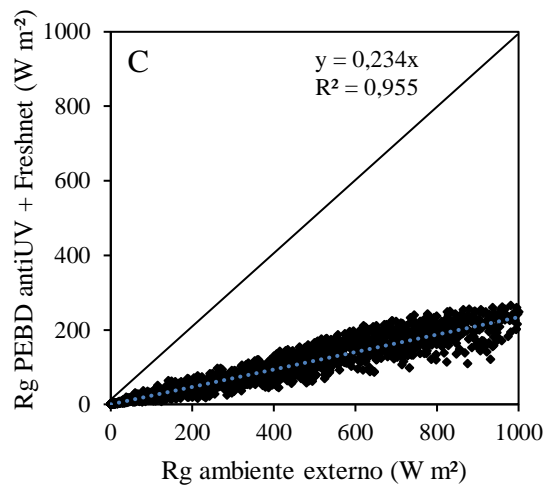
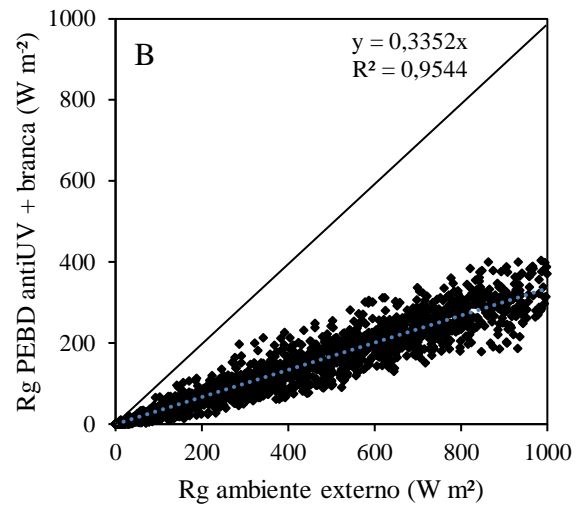
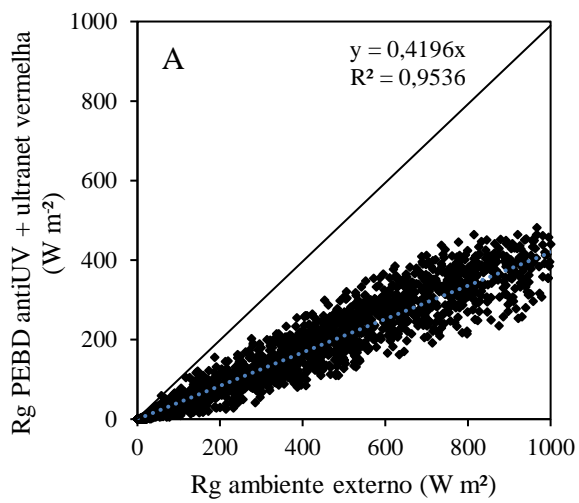


Figura 13. Radiação solar global (Rg; $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) no ambiente externo e nos módulos cobertos com: A- PEBD antiUV+ ultranet vermelha; B- PEBD antiUV+ branca; C- PEBD antiUV+ freshnet; e D- PEBD antiUV. Recife, 2018.

Na Figura 14 observa-se as relações entre a Rg no ambiente externo e nos módulos de cultivo no ambiente protegido e a relação entre a Rg no módulo coberto com PEBD antiUV e nos módulos PEBD antiUV + malha de sombreamento. Nota-se que os coeficientes de determinação são elevados ($R^2 > 0,95$) mostram boa associação linear entre os ambientes estudados. Há similaridade entre as transmitâncias observadas nas regressões com os dados de 15 minutos com as transmitâncias encontradas com os dados médios, e assim confirmam os resultados obtidos na Tabela 2.



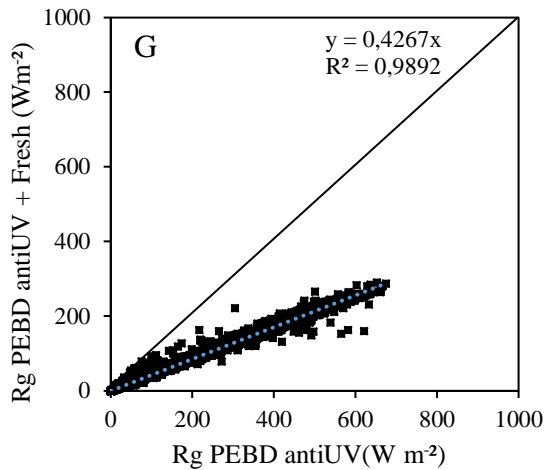


Figura 14. Relação entre a radiação solar global (R_g ; $W m^{-2}$) nos módulos estudados e no ambiente externo e entre os módulos PEBD antiUV + malha de sombreamento e o módulo coberto com PEBD antiUV. A- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha; B- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + branca; C- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + freshnet; D- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV; E- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha; F- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + branca; G- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + freshnet. Recife, 2018.

5.1.1.2 Radiação fotossinteticamente ativa

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA, $MJ m^{-2} dia^{-1}$) média nos módulos cobertos com PEBD antiUV + malha de sombreamento ($2,12 MJ m^{-2} dia^{-1}$) é menor do que os valores registrados no módulo com PEBD antiUV ($3,68 MJ m^{-2} dia^{-1}$), isto devido à menor transmitância proporcionada pelas malhas de sombreamento (Tabela 3; Figura 15) (Holcman & Sentelhas, 2012; Hirata & Hirata, 2015).

Tabela 3. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA; $MJ m^{-2} dia^{-1}$), porcentagem de sombreamento real (S_{real} , %) e Transmitância da malha (%) nos módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha, PEBD antiUV + branca, PEBD antiUV + freshnet e PEBD antiUV. Recife, 2017.

Módulos	RFA ($MJ m^{-2} dia^{-1}$)	Média	S_{real}	Transmitância malha (%)
PEBD antiUV + ultranet vermelha	2,58		29,8	70,20
PEBD antiUV + branca	2,07	2,12	43,68	56,32
PEBD antiUV + freshnet	1,73		42,89	47,11
PEBD antiUV	3,68	3,68		

Os valores médios de RFA registrados nos módulos com malha de sombreamento sofreram reduções proporcionais ao fator de sombreamento de cada malha. Verifica-se que a maior transmitância foi observada no módulo de cultivo com PEBD antiUV + ultranet vermelha (70,20 %) em relação ao módulo com PEBD antiUV (Tabela 3; Figura 15), isto devido a malha vermelha se destacar das demais ao transmitir com maior intensidade a radiação solar na faixa de 600 a 900 nm (Artus et al., 2013).

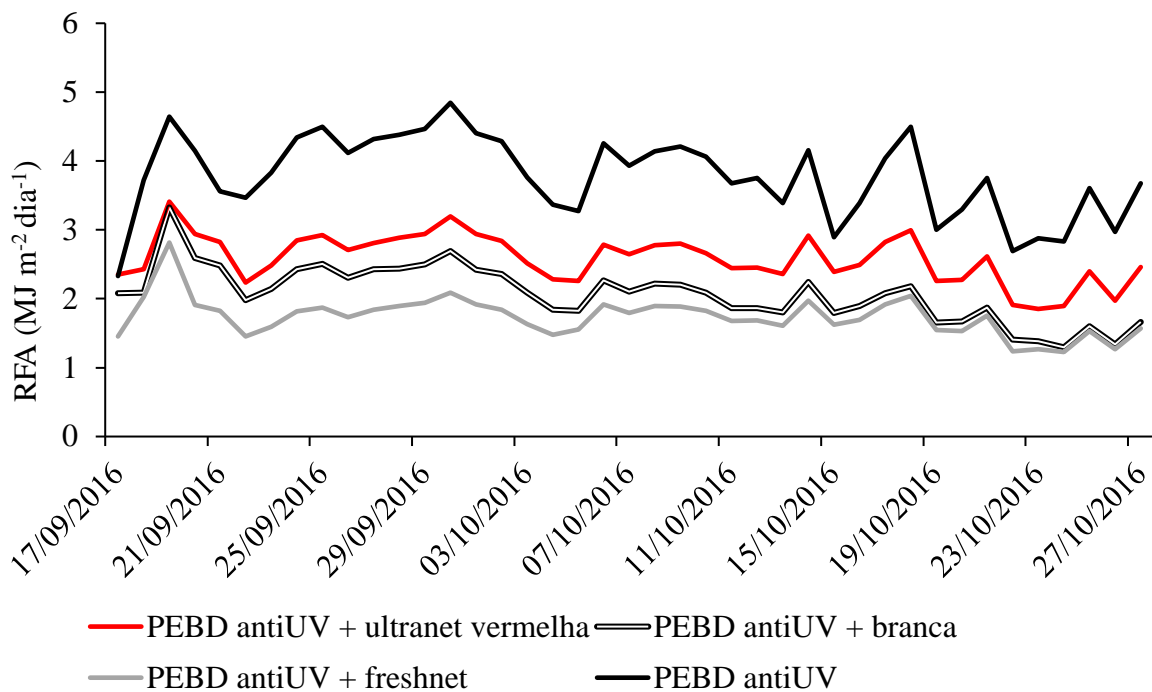


Figura 15. Radiação fotossinteticamente ativa ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) nos módulos cobertos com: A- PEBD antiUV+ ultranet vermelha; B- PEBD antiUV+ branca; C- PEBD antiUV+ freshnet; e D- PEBD antiUV. Recife, 2018.

Na fração de RFA na R_g , nota-se que os módulos com PEBD antiUV + malhas ultranet vermelha e branca proporcionaram redução da porcentagem de RFA, isto porque a malha vermelha permitiu maior transmitância da R_g juntamente com a RFA (Figura 16). No presente estudo, o módulo coberto com malha freshnet proporcionou aumento da fração RFA/R_g . Isto devido este material possuir característica termorrefletora e assim fornece em média 15 % mais luz difusa, ao ambiente de cultivo (Pereira et al., 2015).

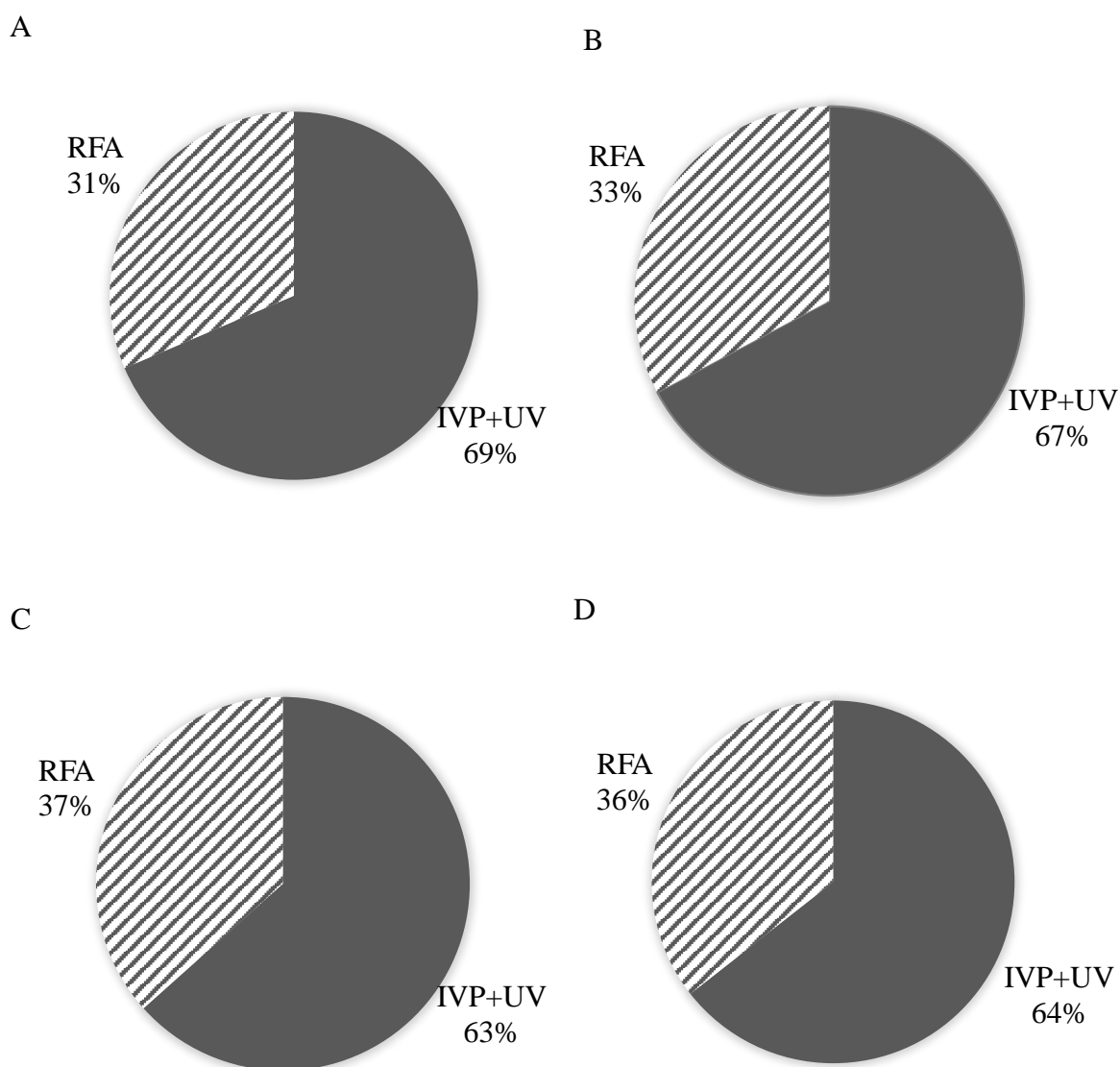


Figura 16. Participação percentual da radiação solar global (Rg) em radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e radiação infravermelho próximo e ultra-violeta (IVP+UV) nos módulos cobertos com: A- PEBD antiUV+ ultranet vermelha; B- PEBD antiUV+ branca; C- PEBD antiUV+ freshnet; e D- PEBD antiUV. Recife, 2018.

5.1.1.3 Distribuição da energia espectral da radiação solar

A distribuição da energia espectral em cada módulo de cultivo de mudas pode ser observada na Figura 17. Observa-se que independente do módulo utilizado, o pico de emitância máximo da radiação solar global foi na faixa de 500 nm (verde), uma vez que a maior parte da radiação emitida pelo sol está na faixa de 200 a 3000 nm com pico de 500 nm, lei de Wien. As plantas refletem o espectro de radiação na faixa da luz verde (500 – 565 nm) já que este espectro não tem grande participação nos processos fotossintéticos (Robertson, 1996) e dessa forma a

maior reflexão deste espectro pelas plantas pode também ter contribuído para maior intensidade no interior do ambiente.

Verifica-se maior acúmulo do espectro do vermelho (625 – 700 nm) no módulo de cultivo coberto com PEBD antiUV + freshnet com 0,85 MJ m⁻² dia⁻¹ no ciclo de produção de mudas (Figura 17). Nesta faixa do espectro de radiação solar ocorre uma grande quantidade de absorção de energia luminosa, pois é a faixa de maiores picos de absorção das clorofilas. Esta banda afeta fortemente o crescimento vegetativo, a fotossíntese, a floração e brotação (Singh et al., 2015).

Os módulos de cultivo transmitiram o máximo de radiação solar no espectro do azul (440-485 nm) de 0,45 MJ m⁻² dia⁻¹ no PEBD antiUV + branca e mínimo de 0,41 MJ m⁻² dia⁻¹ no PEBD antiUV. Singh et al. (2015) relataram que este espectro de radiação solar inicia-se o processo de absorção da luz por pigmentos vegetais (clorofilas e carotenóides). O espectro de luz azul promove a síntese de pigmentos fotossintéticos, clorofila a, b e total, e é responsável pelo maior teor destes pigmentos nas plantas (Melo & Alvarenga, 2009; Martins et al., 2010; Zhou et al., 2015).

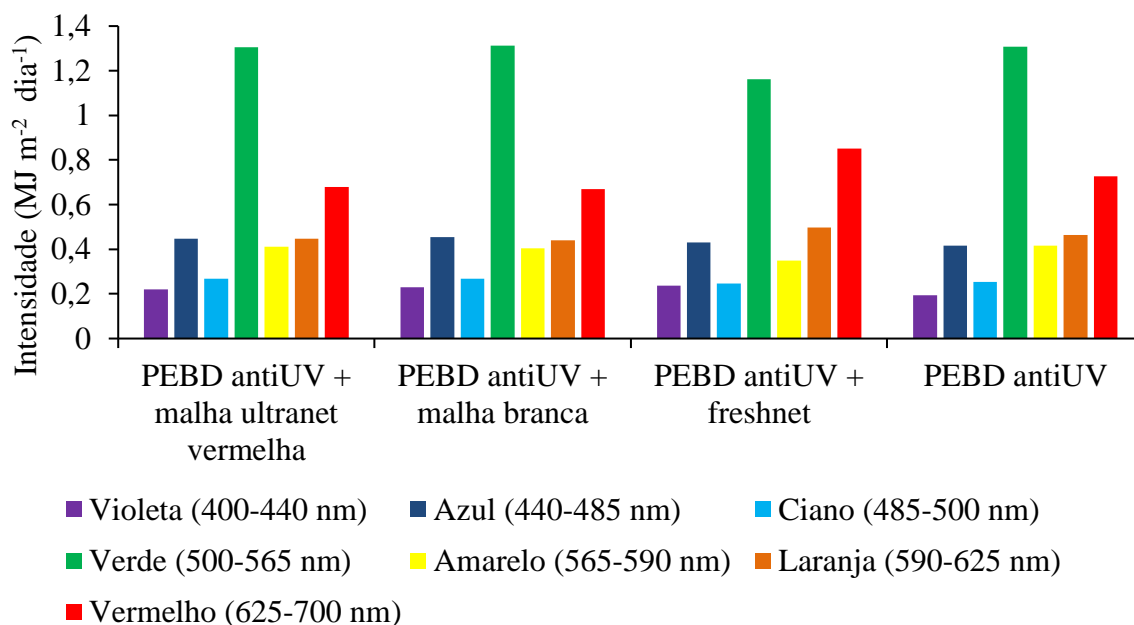


Figura 17. Distribuição da energia espectral da radiação solar nos módulos com PEBD antiUV + ultranet vermelha; PEBD antiUV + branca; PEBD antiUV + freshnet; e PEBD antiUV. Recife, 2018.

Nos módulos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + branca (Figura 18A e 18B) verifica-se maior relação do espectro de luz azul/vermelho (A/V), isto devido as malhas fotosselativas vermelha e freshnet proporcionarem maior transmitância do espectro azul

(440-485 nm) associado a menor proporção de luz no espectro do vermelho (625-700 nm). Oliveira et al. (2009) relataram que a maior razão A/V induz uma maior qualidade de luz para desenvolvimento das plantas.

O módulo com PEBD antiUV + freshnet observou-se maior porcentagem de radiação solar do espectro do vermelho (Figura 18C). Isto ocorre devido a malha freshnet promover maior qualidade de RFA para no interior do módulo de cultivo que as outras malhas e com um maior incremento na faixa de 625 nm.

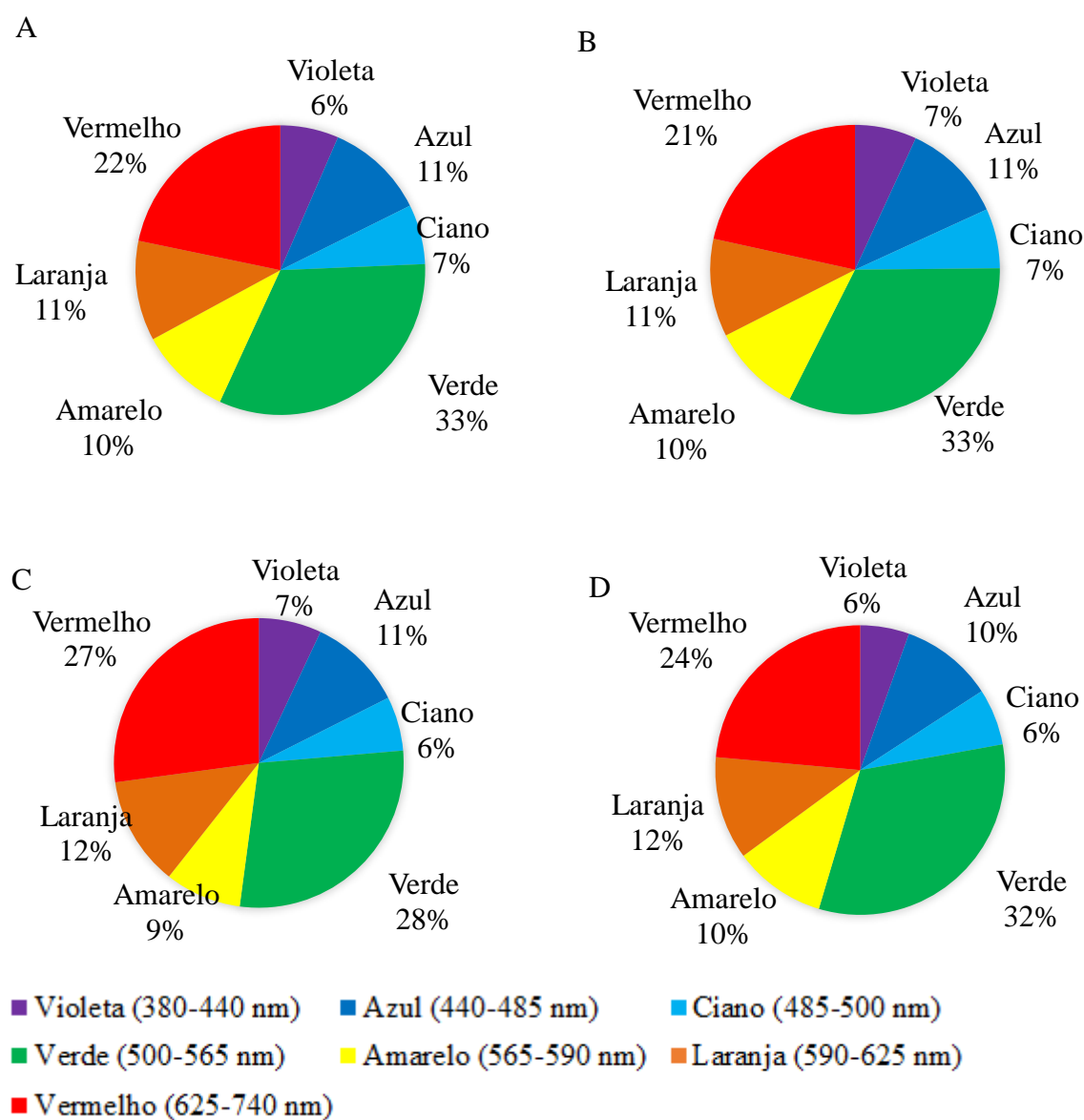


Figura 18. Porcentagem de cada espectro de radiação solar nos módulos de cultivo: A- PEBD antiUV + ultranet vermelha; B- PEBD antiUV + branca; C- PEBD antiUV + freshnet; D- PEBD antiUV. Recife, 2018.

5.1.1.4 Temperatura do ar

A Tar no ambiente interno foi de 7,92 % maior em relação à registrada no ambiente externo (Tabela 4), isto porque no interior do ambiente protegido a Tar é função da quantidade de radiação que entra e da quantidade de energia retida devido à presença do plástico de cobertura. Resultados semelhantes aos encontrados por Reis et al. (2013), que observaram temperatura do ar no ambiente protegido foi 7,2% maior do que a registrada no ambiente externo.

Tabela 4. Temperatura do ar média (Tar, °C), Variação da temperatura do ar em relação ao ambiente externo (Δ Tar ext, %) e Variação da temperatura do ar em relação ao módulo PEBD antiUV (Δ Tar PEBD, %) nos módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha, PEBD antiUV + branca, PEBD antiUV + freshnet e PEBD antiUV. Recife, 2018.

Módulos	Tar (°C)	Δ Tar (%)	Δ Tar PEBD (%)
PEBD antiUV + ultranet vermelha	29,86	5,33	2,81
PEBD antiUV + branca	30,16	6,28	1,78
PEBD antiUV + freshnet	29,45	4,07	4,23
PEBD antiUV	30,70	7,92	
Ambiente Externo	28,26		

A Tar no interior dos ambientes protegidos varia e função de diversos fatores, dentre eles: ângulo de incidência da radiação solar, tipo de material de cobertura, tipo de piso ou solo e volume do ambiente protegido (Santos et al., 2010). No presente estudo, verificou-se que o fator preponderante para a maior Tar no ambiente protegido foi a presença do plástico de cobertura PEBD antiUV, que foi responsável por manter a Tar interna 7,92 % maior que a externa (Figura 19).

A Tar média máxima foi registrada no módulo de cultivo coberto com PEBD antiUV (30,70 °C) e a mínima no módulo coberto com PEBD antiUV + freshnet (29,45 °C) (Tabela 4; Figura 19). As Tar registrada nos módulos ficaram na faixa de 25 à 33 °C, que é a mais adequada para o crescimento cana-de-açúcar (Ferreira-Júnior et al., 2012). Temperaturas do ar abaixo de 20 °C proporcionam repouso fisiológico e paralização do crescimento. Para Lui et al. (1998) a temperatura do ar é um dos fatores que mais influenciam a produção da cana-de-açúcar, com temperatura do ar ótima para o crescimento e desenvolvimento entre 28 e 30 °C.

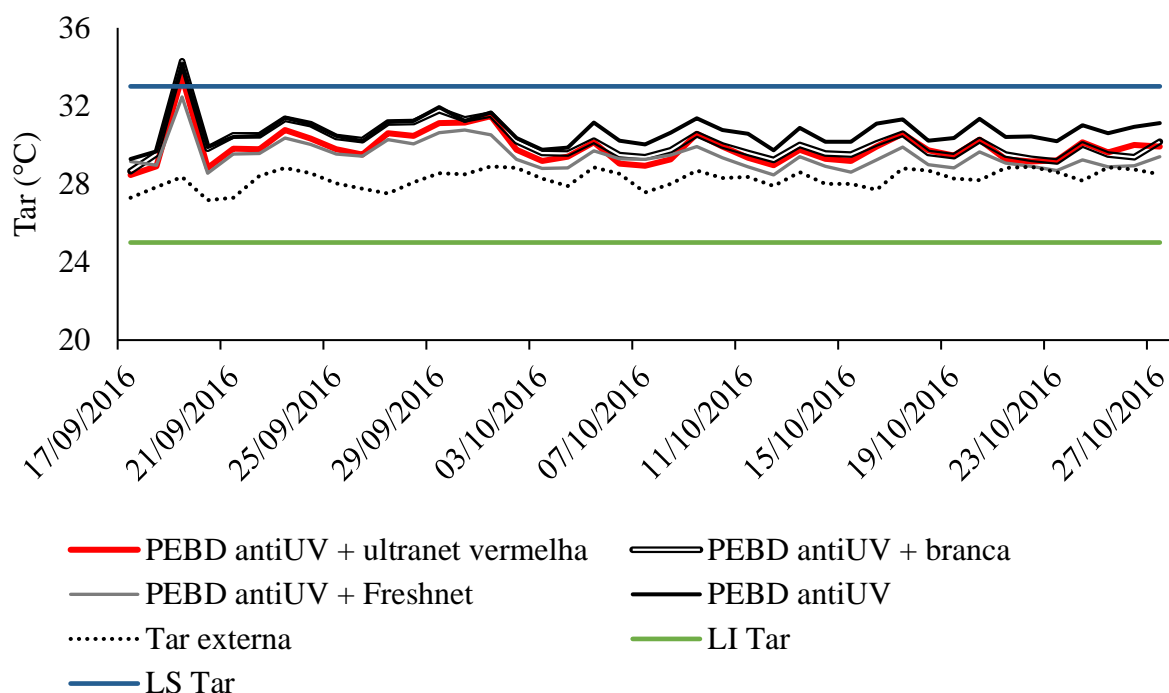


Figura 19. Temperatura do ar (Tar; °C) no ambiente externo, nos módulos cobertos com PEBD antiUV+ ultranet vermelha, PEBD antiUV+ branca, PEBD antiUV+ freshnet, PEBD antiUV e limites inferior (LI Tar) e superior (LS Tar) da Tar para crescimento da cana-de-açúcar. Recife, 2018.

Observa-se que o coeficiente de determinação moderados ($R^2 > 0,59$) para as relações existentes entre Tar nos módulos no ambiente interno e a Tar do ambiente externo (Figura 20A, 20B, 20C e 20D), o que indica que há uma variação incomum entre os dados. Isto pode ter ocorrido devido à baixa velocidade do vento no interior do ambiente protegido em relação ao ambiente externo, visto que a máxima velocidade do vento no ambiente protegido é de $2,0 \text{ m s}^{-1}$ e os maiores problemas com Tar elevada estão relacionados a menor taxa de renovação de ar do ambiente (Oliveira et al., 2014). Já os coeficientes angulares, com dados de 15 minutos, confirmam que a superioridade da Tar nos módulos coberto com PEBD antiUV em relação ambiente externo.

Para a relação entre a Tar nos módulos com PEBD antiUV + malhas de sombreamento e a Tar no módulo PEBD antiUV (Figura 20 E, 20F e 20G) observa-se coeficientes de determinação elevados ($R^2 > 0,94$), que mostram boa associação linear entre a Tar registrada nos módulos com PEBD antiUV + malha de sombreamento e a Tar no módulo PEBD antiUV. Os coeficientes angulares mostram que há similaridade entre os resultados obtidos com os dados de 15 min com os dados diários apresentados na Tabela 4.

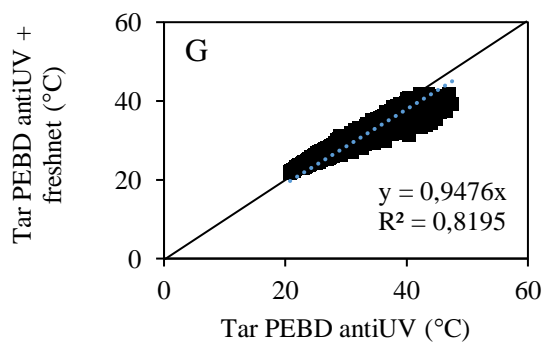
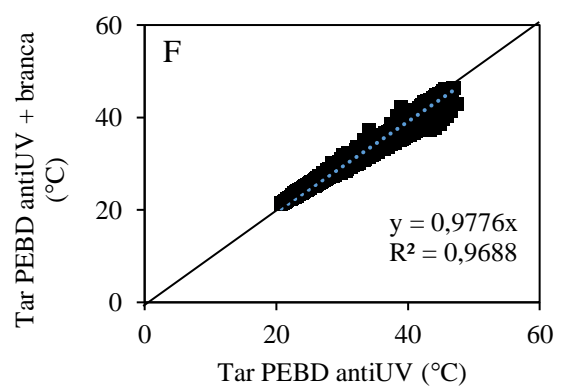
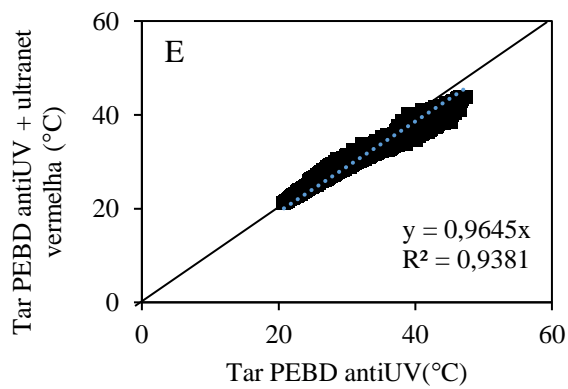
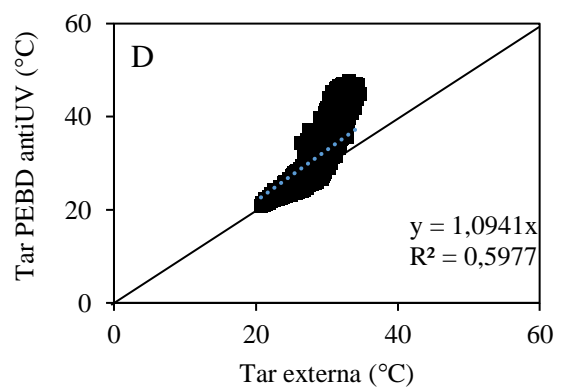
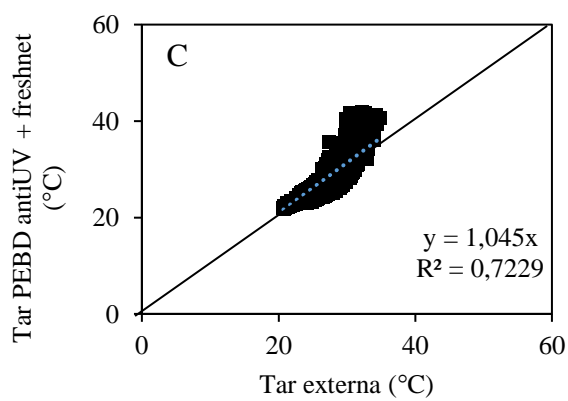
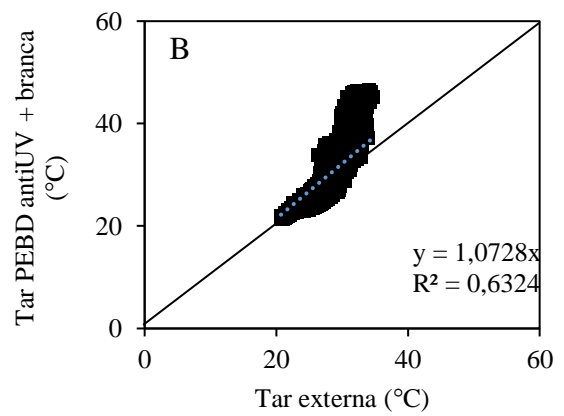
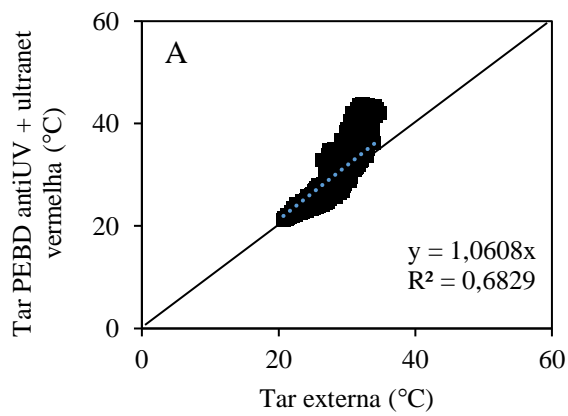


Figura 20. Relação entre a Temperatura do ar (Tar; °C) nos módulos estudados e no ambiente externo e entre os módulos PEBD antiUV + malha de sombreamento e o módulo coberto com PEBD antiUV. A- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha; B- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + branca; C- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV + freshnet; D- relação entre ambiente externo e módulo PEBD antiUV; E- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha; F- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + branca; G- relação entre módulo PEBD antiUV e módulo PEBD antiUV + freshnet. Recife, 2018.

5.1.1.5 Temperatura do substrato

O módulo coberto com PEBD antiUV + branca proporcionou maior acúmulo de energia e com isso maior temperatura do substrato (Tsubs) média (32,97 °C), com um acréscimo de 8,5 % em relação a Tar registrada neste módulo de cultivo (Tabela 5). Já no módulo com PEBD antiUV + freshnet observou-se uma redução média da Tsubs -1,39 °C em relação a Tar, isto devido a malha freshnet possuir característica termorrefletora e desta forma promove menor transmitância da Rg e menor acúmulo de energia no ambiente interno. Santos et al. (2010) relataram que o uso de malha de sombreamento termorrefletora foi eficiente na redução da temperatura do solo (substrato) no interior do ambiente de cultivo.

No módulo com PEBD antiUV + ultranet vermelha observou-se pequena variação da Tsubs em relação a Tar (0,38 °C) (Tabela 5). Masabini et al. (2016) observaram uma redução da temperatura do solo (substrato) proporcional ao fator de sombreamento da malha, em que sob malhas com 50 e 70% de sombreamento observou-se uma redução de 2,4 e 3,0 °C, respectivamente, em relação ao ambiente sem malha de sombreamento.

Tabela 5. Dados médios de Temperatura do substrato (Tsubs; °C), temperatura do ar (Tar; °C) e variação da temperatura do substrato em relação a temperatura do ar ($\Delta T_{\text{subs-Tar}}$; °C e %) nos módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha, PEBD antiUV + branca, PEBD antiUV + freshnet e PEBD antiUV. Recife, 2017.

Módulos	Tsubs	Tar	$\Delta T_{\text{subs-Tar}}$	
			°C	%
PEBD antiUV + ultranet vermelha	30,24	29,86	0,38	1,25
PEBD antiUV + branca	32,97	30,16	2,81	8,53
PEBD antiUV + freshnet	28,06	29,46	-1,39	-4,97
PEBD antiUV	29,15	30,70	-1,55	-5,32

A Tsubs durante o ciclo de produção de mudas foi superior no módulo com PEBD antiUV + branca (32,97 °C) durante todo o período experimental. Já a Tsubs no módulo com PEBD antiUV + freshnet foi menor (28,06 °C) que os demais módulos de cultivo durante todo

o período experimental (Figura 21). A faixa temperatura do solo ideal para atingir uma porcentagem de brotação das gemas acima de 90 % situa-se entre 23 e 32 °C. Já temperaturas do solo abaixo de 21 °C limitam fortemente o crescimento e brotação das plantas, acima desta a brotação aumenta progressivamente (clementes, 1940). Silva et al. (2013) relataram que a malha termorrefletora proporcionou menor temperatura do substrato e com isso melhores condições para o desenvolvimento da radícula das mudas, elevando a velocidade de emergência das plântulas.

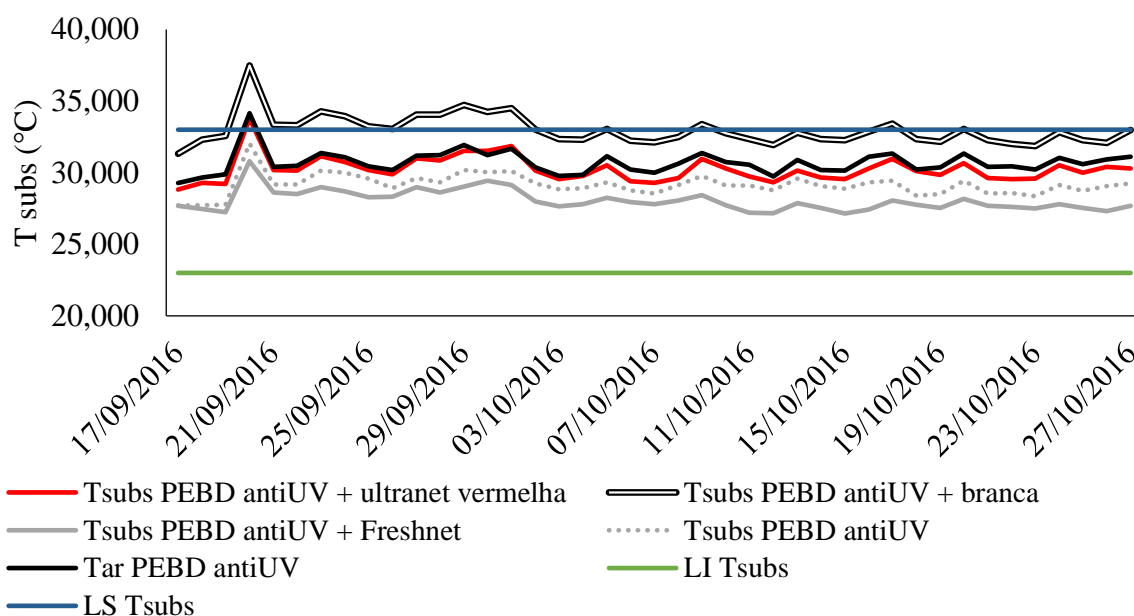


Figura 21. Temperatura do ar (Tar; °C) no ambiente protegido, temperatura do substrato (Tsubs; °C) nos módulos cobertos com: PEBD antiUV+ ultranet vermelha; PEBD antiUV+ branca; PEBD antiUV+ freshnet; PEBD antiUV e limites inferior (LI Tsubs) e superior (LS Tsubs) da Tsubs para crescimento e brotação da cana-de-açúcar. Recife, 2018.

Observa-se coeficientes de determinação elevados entre a Tar e Tsubs nos módulos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + branca ($R^2 > 0,90$), o que mostra boa associação linear entre os dados (Figura 22A e 22B). As similaridades entre as relações Tsubs-Tar observadas nas regressões com os dados de 15 minutos com as relações Tsubs-Tar encontradas com os dados médios confirmam os resultados obtidos na Tabela 5.

Os coeficientes angulares das equações denotam valor de Tsubs superior a Tar em 9,8 %, no módulo com PEBD antiUV + branca (Figura 22B), e inferiores a Tar em 0,62, 5,63, e 5,97 %, para os módulos PEBD antiUV + ultranet vermelha (Figura 22A), PEBD antiUV + freshnet (Figura 22C) e PEBD antiUV (Figura 22D), respectivamente.

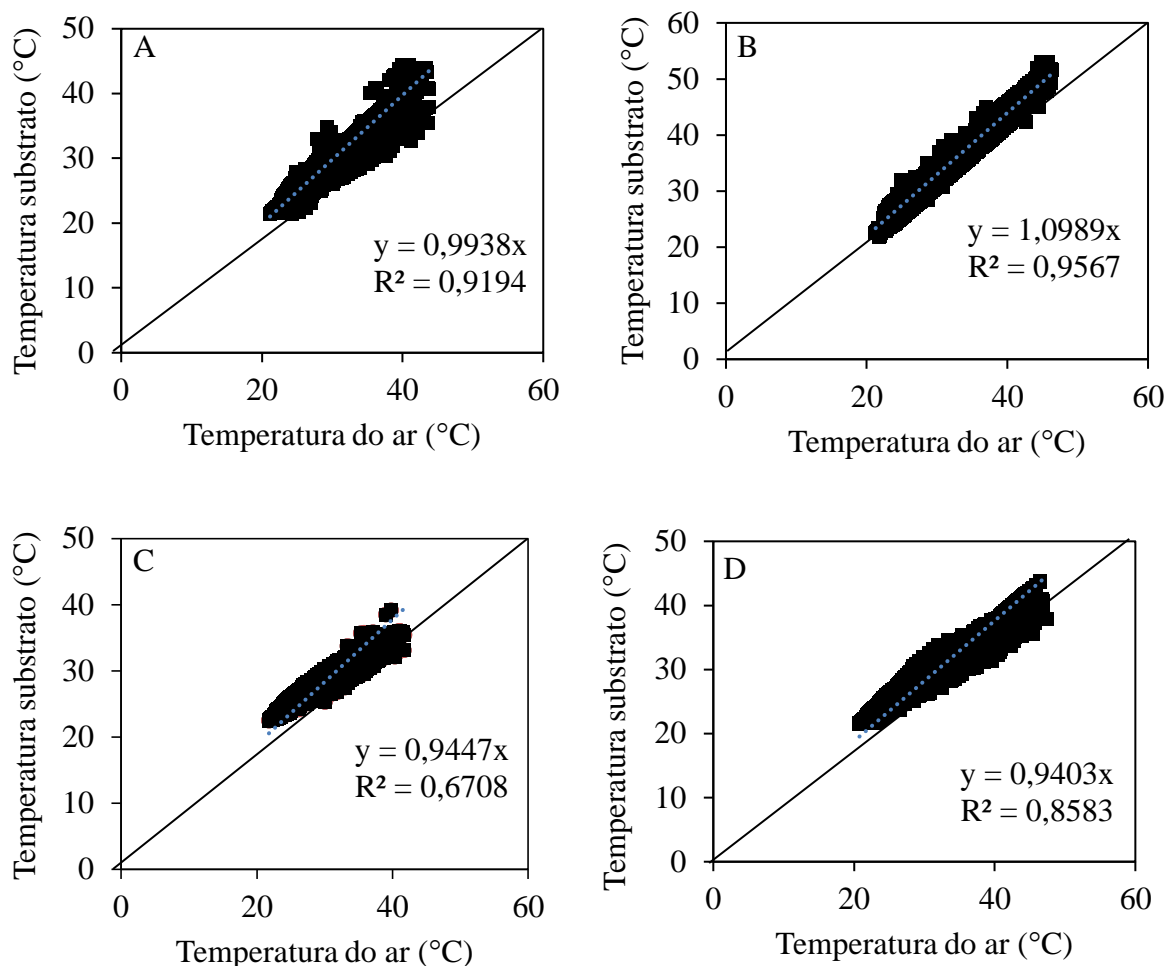


Figura 22. Relação entre a temperatura do substrato (Tsubs; °C) nos módulos estudados e a temperatura do ar (Tar, °C) do ambiente protegido. A- relação entre Tar e Tsubs no módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha; B- relação entre Tar e Tsubs no módulo PEBD antiUV + branca; C- relação entre Tar e Tsubs no módulo PEBD antiUV + freshnet; D- relação entre Tar e Tsubs no módulo PEBD antiUV. Recife, 2018.

5.1.1.6 Umidade relativa do ar

Nota-se que a umidade relativa do ar (UR) média registrada no ambiente externo foi superior a UR média registrada no ambiente interno em 3,38 % (Tabela 6). Isto devido os valores de UR serem dependentes e inversamente proporcionais a Tar (Rampazzo et al., 2014). Cantu et al. (2013) relataram que a cobertura de PEBD, em ambiente protegido, proporcionou maior Tar e menores médias de UR em comparação com o ambiente a céu aberto.

Tabela 6. Variação da umidade relativa do ar média (ΔUR ; %) e da temperatura do ar média (Tar; °C) no ambiente interno e externo. Recife, 2018.

Ambiente	UR (%)	Tar (°C)	ΔUR (%)	ΔTar (%)
Interno	67,26	30,70	3,38	7,92
Externo	70,64	25,44		

Na Figura 23 observa-se a variação da diária da UR durante o ciclo de produção de mudas. Nota-se o comportamento inversamente proporcional da UR em relação a Tar, em que no ambiente protegido a UR máxima foi de 88,7 % e mínima de 45,7 %. Já no ambiente externo a UR máxima atingiu valores de 86,9 % e mínima de 54,4 %. A presença do PEBD no interior do ambiente protegido proporciona maior armazenamento de energia, menor amplitude térmica e elevada UR (Cantu et al., 2013; Lima et al., 2015) devido à menor taxa de renovação do ar (Oliveira et al., 2014).

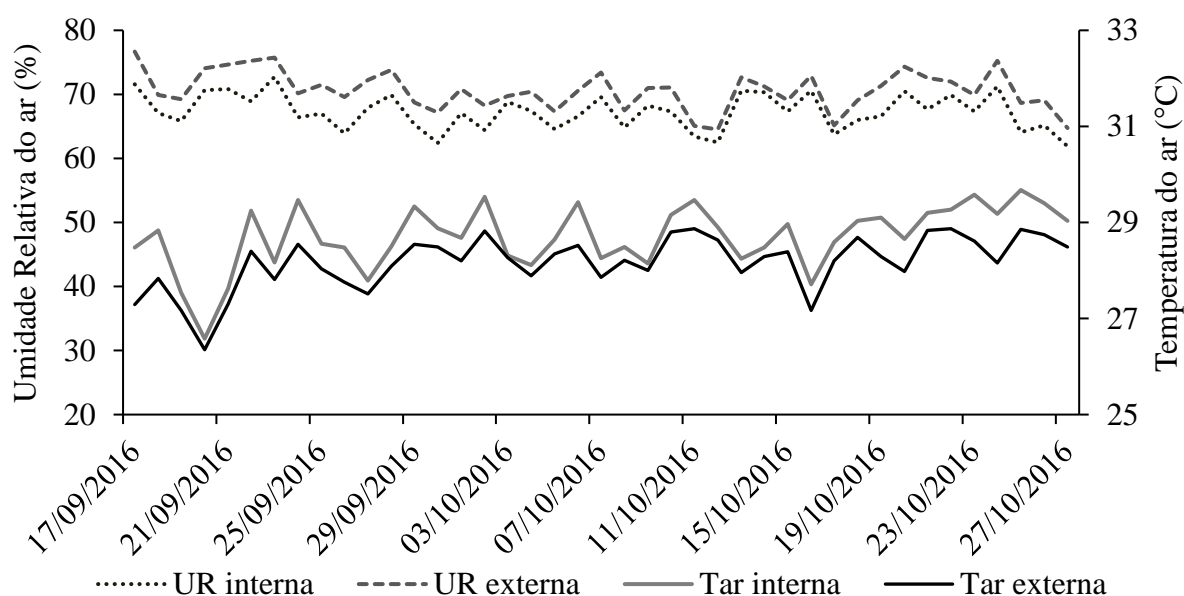


Figura 23. Variação da Umidade Relativa do ar (UR, %) e da temperatura do ar (Tar, °C) médias diárias no ambiente interno e no ambiente externo. Recife, 2018.

Na relação entre a UR registrada no ambiente interno e a registrada no ambiente externo observa-se coeficiente de determinação elevado ($R^2 > 0,91$), que mostra boa associação linear entre os ambientes interno e externo (Figura 24). Já o coeficiente angular da equação, com dados de 15 minutos, confirma que a UR do ambiente interno foi 1,7% inferior à registrada no ambiente externo.

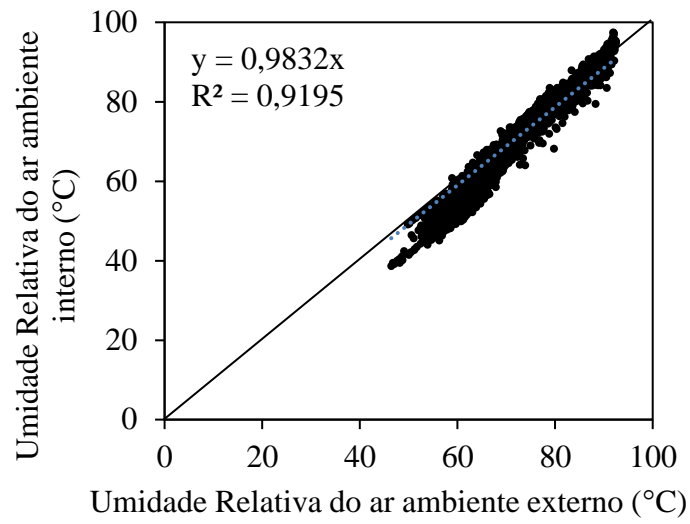


Figura 24. Relação entre a umidade relativa do ar no ambiente interno (UR(int); °C) e no ambiente externo (Tar(ext); °C). Recife, 2018.

5.1.2 Análise multivariada

5.1.2.1 Brotação (1 aos 12 DAP)

Na Tabela 7 são apresentados os dados médios da análise de brotação e os dados acumulados das variáveis micrometeorológicas até os 12 dias após plantio (DAP). No módulo coberto com PEBD antiUV + branca observou-se que maiores valores absolutos de Tsub acumulada (573,1 °C), maior %B (78,9) e IVB (6,33).

Tabela 7. Dados médios das variáveis de brotação e dados acumulados das variáveis micrometeorológicas até os 12 DAP. Primeira contagem de emergência (PCE); Índice de velocidade de Brotação (IVB); Porcentagem de brotação (%B); Temperatura do substrato (Tsub); Temperatura do ar (Tar); Umidade Relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Recife, 2018.

	PCE	%B	IVB	Tsub	Rg	RFA	Tar	UR
	%. %	%	-	°C	MJ m ⁻² ciclo ⁻¹	MJ m ⁻² ciclo ⁻¹	°C	%
PEBD antiUV + ultranet vermelha	1,33	76,80	5,87	520,9	149,9	44,78	514,4	955,89
PEBD antiUV + branca	2,40	78,93	6,33	573,1	122,2	38,78	524,3	950,26
PEBD antiUV + freshnet	2,67	68,80	5,46	486,4	87,08	30,03	509,0	926,48
PEBD antiUV	1,60	60,27	4,80	500,1	198,9	66,19	525,4	906,73

A partir dos dados da análise de brotação das mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar e das variáveis micrometeorológicas dos módulos de cultivo foram obtidas as estimativas dos autovalores a partir da matriz de covariância dos dados, onde mostrou que o primeiro e o segundo componentes principais explicaram 48,3 % e 27,7 % da variação total dos dados, respectivamente. Isto implica na possibilidade de descrever a variabilidade dos dados e as possíveis associações entre variáveis em apenas dois eixos principais.

A primeira contagem de emergência (PCE) apresentou maior associação com o módulo coberto com PEBD antiUV + freshnet, isto em função da similaridade na localização destes componentes nos gráficos dos módulos (Figura 25A) e das variáveis (Figura 25B). A PCE apresentou correlação negativa com as variáveis de radiação solar global (Rg) ($r = -0,32$), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ($r = -0,28$) e temperatura do ar (Tar) ($r = -0,11$). Dessa forma, quanto maior a quantidade de Rg, RFA e Tar no módulo de cultivo maior foi o tempo necessário para as mudas começarem a emergir. Nascimento et al. (2011) relataram que temperaturas muito altas prejudicam o início do processo de germinação, reduzindo a velocidade de germinação e o percentual final devido a inativação de algumas enzimas diretamente ligadas a este processo. Além disso, a maior porcentagem do espectro do vermelho

(625 - 740 nm) da radiação solar no módulo PEBD antiUV + freshnet pode ter reduzido o tempo necessário para a brotação das gemas, pois este espectro é característico por afetar fortemente a brotação (Singh et al., 2015).

Os módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + branca apresentaram maior associação com as variáveis de índice de velocidade de brotação (IVB), porcentagem de brotação (%B), umidade relativa do ar (UR) e temperatura do substrato (Tsubs) (Figura 25A e 25B). Nestes módulos de cultivo foram registradas Tsubs média de 30,2 °C e 32,9 °C, respectivamente. A faixa temperatura do solo ideal para se obter uma maior porcentagem de brotação situa-se entre 25 e 33 °C (Aude, 1993). Já temperaturas do solo abaixo de 21 °C limitam fortemente a brotação das gemas (clementes, 1940). Oliveira et al. (2012) ressaltam que a malha de sombreamento branca conserva maior quantidade de energia proveniente da radiação solar, o que proporciona aumento da Tar em até 1,3°C, este apontamento pode estar associado também ao aumento da Tsubs neste módulo de cultivo.

O IVB foi mais influenciado pelas as variáveis micrometeorológicas de umidade relativa (UR) ($r = 0,64$) e de temperatura do substrato (Tsubs) ($r = 0,56$). Os maiores IVB foram observados nos módulos PEBD antiUV + branca (6,33) e PEBD antiUV + ultranet vermelha (5,87), Matoso et al. (2016) observaram IVB de 3,79 para mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

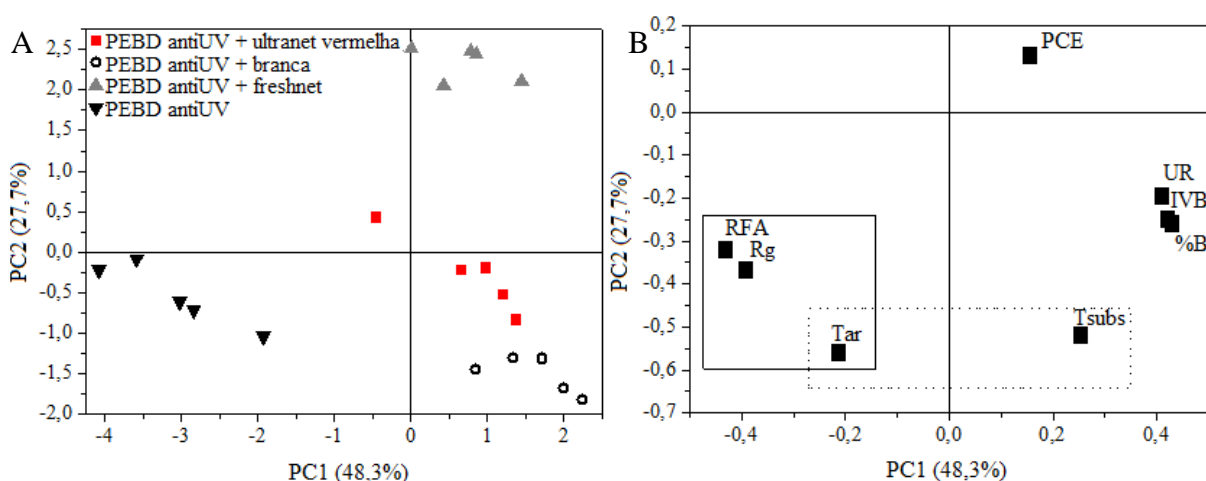


Figura 25. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs o componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis de brotação (B; pesos): Primeira contagem de emergência (PCE); Índice de velocidade de Brotação (IVB); Porcentagem de brotação (%B); Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) até os 12 DAP. Recife, 2018.

Assim como o IVB, a %B sofreu maior influência da UR ($r = 0,73$) e da Tsub ($r = 0,55$) (Figura 25B). Silva et al. (2004) observaram porcentagem de brotação acima de 74 % em condições de UR média de 80 %. As maiores Tsub nos módulos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + branca favoreceram o IVB e a %B de MPB de cana-de-açúcar, que pode ser explicado em função da temperatura interferir na velocidade, porcentagem, uniformidade de brotação, nas reações bioquímicas, na diferenciação celular e na ação das enzimas que realizam a divisão celular (Silva et al., 2016; Arrigoni-Blank et al., 2014).

5.1.2.2 Biométricas (13 aos 19 DAP)

Os dados médios das variáveis biométricas e os dados acumulados das variáveis micrometeorológicas do período 2, dos 13 aos 19 DAP, são apresentados na Tabela 8. Neste período observa-se nos módulos cobertos com PEBD antiUV + malha de sombreamento maiores valores absolutos de ALT (> 19,91 cm), CC (> 8,11 cm), DC (> 4,24 mm) e TMF (> 0,24).

Tabela 8. Dados médios das variáveis biométricas e dados acumulados das variáveis micrometeorológicas dos 13 aos 19 DAP. Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsub); Temperatura do ar (Tar); Umidade Relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA). Recife, 2018.

	PEBD antiUV + ultranet vermelha	PEBD antiUV + branca	PEBD antiUV + freshnet	PEBD antiUV
ALT (cm)	19,91	21,45	20,60	17,48
CC (cm)	8,11	8,81	8,93	6,67
DC (cm)	4,28	4,24	4,41	3,90
IAF	1,07	1,44	1,35	1,24
TCA (cm dia ⁻¹)	1,33	1,43	1,37	1,17
TCADC (cm dia ⁻¹)	0,29	0,28	0,29	0,26
TMF (cm ³ dia ⁻¹)	0,24	0,26	0,27	0,18
Tsub (°C)	214,88	234,16	199,26	206,63
Rg (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	59,77	47,61	33,50	79,81
RFA (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	18,98	15,73	12,46	28,40
Rg/RFA	31,75	33,05	37,18	35,59
Tar (°C)	212,17	214,19	208,49	215,96
UR (%)	470,02	477,86	469,23	456,86

A partir da análise de componentes principais das variáveis biométricas e micrometeorológicas, obtidas nos módulos de cultivo, foram feitas as estimativas dos autovalores a partir da matriz de covariância dos dados, em que o primeiro e o segundo componentes principais explicaram 60,9 % e 19,2 % da variação total dos dados, respectivamente. Isto implica na possibilidade de descrever a variabilidade dos dados e as possíveis associações entre variáveis em apenas dois eixos principais (PC1 e PC2).

Os módulos com PEBD antiUV + malha de sombreamento apresentaram maior associação com as variáveis biométricas do que o módulo coberto com PEBD antiUV, isto pode ser observado em função da similaridade na localização destes componentes nos gráficos dos módulos (Figura 26A), das variáveis (Figura 26B) e confirma-se ao verificar a correlação negativa da Rg, RFA e Tar com a altura da planta ($r = -0,68$; $-0,73$ e $-0,41$, respectivamente) e comprimento do colmo ($r = -0,89$; $-0,92$ e $-0,66$, respectivamente). O uso de malhas de sombreamento fotosselativas em ambiente protegido promove a atenuação das variáveis micrometeorológicas e reduz variações extremas, que são desfavoráveis ao crescimento das mudas e com isto permitem a manutenção dos fatores de crescimento em faixas adequadas para o crescimento inicial das mudas (Guiselini et al., 2010; Guiselini et al., 2013; Ferrari & Leal, 2015).

Durante este período, quando maior a Rg, RFA e Tar menor foi o crescimento das mudas de cana-de-açúcar. Sendo assim, para o período 13 aos 19 DAP (Crescimento) as mudas mostraram sensibilidade as condições micrometeorológicas do ambiente, tais como: temperatura do ar, radiação solar, temperatura do substrato e umidade relativa do ar. Corroborando com resultados obtidos por Silva et al. (2010), que observaram a maior sensibilidade das mudas aos elementos meteorológicos no período inicial de crescimento.

A UR apresentou correlação positiva com as variáveis biométricas da cultura, entre elas a altura da planta (ALT) ($r = 0,77$), comprimento do colmo (CC) ($r = 0,82$). A Tsub_s apresentou maior correlação com a ALT ($r = 0,40$), CC ($r = 0,25$) e índice de área foliar (IAF) ($r = 0,20$) (Figura 26B). Silva et al. (2004) observaram crescimento satisfatório de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar com umidade relativa na faixa de 80 %. Landell et al. (2013) relataram que o maior desenvolvimento inicial de MPB da cana-de-açúcar ocorre em condições de UR na faixa de 90 %, assim quando mais próximo de 90 % a UR maior foi o desenvolvimento das mudas.

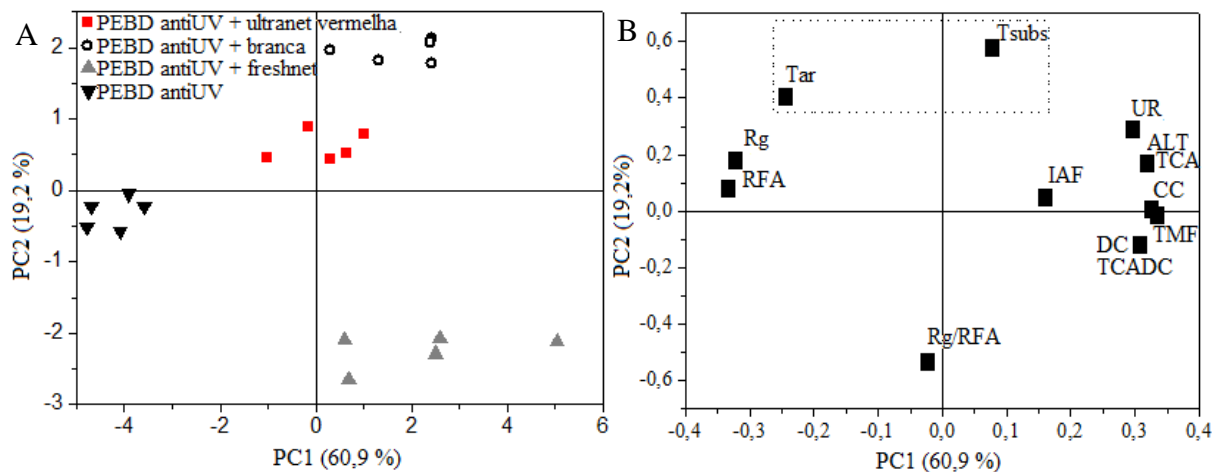


Figura 26. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) dos 13 aos 19 DAP. Recife, 2018.

5.1.2.3 Biométricas (20 aos 26 DAP)

Os dados médios das variáveis biométricas de MPB de cana-de-açúcar e os dados acumulados das variáveis micrometeorológicas do período 2, dos 20 aos 26 DAP, são apresentados da Tabela 9. Observa-se nos módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + branca os maiores valores absolutos de ALT (> 38,46 cm), CC (> 9,06 cm) e IAF (> 3,58). Já no módulo PEBD antiUV + feshnet os maiores valores absolutos foram DC (4,92 mm), TCADC (0,07) e TMF (0,75).

Tabela 9. Dados médios das variáveis biométricas e dados acumulados das variáveis micrometeorológicas dos 20 aos 26 DAP. Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsub); Temperatura do ar (Tar); Umidade Relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA). Recife, 2018.

	PEBD antiUV + ultranet vermelha	PEBD antiUV + branca	PEBD antiUV + freshnet	PEBD antiUV
ALT (cm)	39,14	39,77	38,46	33,27
CC (cm)	9,06	9,52	9,59	7,32
DC (cm)	4,52	4,54	4,92	4,26
IAF	3,64	3,98	3,58	2,81
TCA (cm dia ⁻¹)	2,75	2,62	2,55	2,26
TCADC (cm dia ⁻¹)	0,03	0,04	0,07	0,05
TMF (cm ³ dia ⁻¹)	0,63	0,62	0,75	0,48
Tsub (°C)	208,64	227,28	194,36	203,23
Rg (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	60,00	44,98	34,73	78,77
RFA (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	18,57	14,63	12,67	28,03
Rg/RFA	30,95	32,52	36,50	35,59
Tar (°C)	206,01	207,90	204,64	213,29
UR (%)	473,144	481,527	476,146	455,491

A partir da análise de componentes principais das variáveis biométricas e micrometeorológicas, obtidas nos módulos de cultivo, foram feitas as estimativas dos autovalores a partir da matriz de covariância dos dados, em que o primeiro e o segundo componentes principais explicaram 56,2 % e 21,2 % da variação total dos dados, respectivamente. Isto implica na possibilidade de descrever a variabilidade dos dados e as possíveis associações entre variáveis em apenas dois eixos principais (PC1 e PC2), que juntos explicam 77,4 % da variação total dos dados (Figura 27).

Na presença de malha de sombreamento, os módulos de cultivo apresentaram maior associação com as variáveis biométricas da cultura em função da similaridade na localização destes componentes nos gráficos dos módulos (Figura 27A) e das variáveis (Figura 27B). Nota-se que os módulos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + branca apresentaram maior associação com as variáveis IAF, ALT, CC e TCA. Isto pode estar relacionado as maiores Tsub e UR acumuladas nestes módulos.

O módulo com PEBD antiUV + freshnet apresentou maior associação com TMF, DC e TCADC (Figura 27). Este módulo de cultivo apresentou menor associação com as variáveis micrometeorológicas de Rg, Tar, RFA e uma Tar média de 29,4 °C, a menor entre os módulos estudados. Assim, nota-se que este módulo de cultivo proporcionou maior atenuação destes

componentes micrometeorológicos devido a malha freshnet possuir característica termorrefletora e desta forma promover maior reflexão da Rg e maior atenuação da Tar (De Araújo et al., 2016).

A UR e Tsub_s apresentaram correlação positiva com as variáveis biométricas da cultura, entre elas a ALT ($r = 0,72$; $r = 0,31$, respectivamente) e o CC ($r = 0,90$; $r = 0,21$, respectivamente) (Figura 27B). A Tar apresentou correlação negativa com o DC ($r = -0,70$), desse modo quando maior a Tar menor o diâmetro do colmo das mudas de cana-de-açúcar. Guerra et al. (2014) observaram que a faixa de temperatura do ar entre 29 e 23 °C proporcionou maior diâmetro do colmo de mudas de cana-de-açúcar.

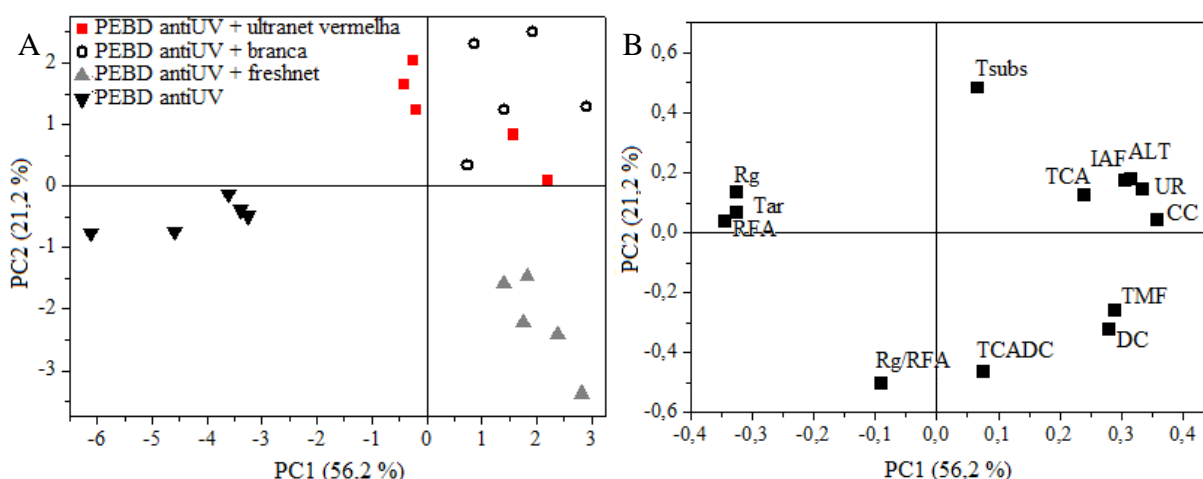


Figura 27. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsub_s); Temperatura do ar (Tar); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) dos 20 aos 26 DAP. Recife, 2018.

5.1.2.4 Biométricas (27 aos 33 DAP)

Os dados médios das variáveis biométricas de MPB de cana-de-açúcar e os dados acumulados das variáveis micrometeorológicas do período 2, dos 27 aos 33 DAP, são apresentados da Tabela 10. No módulo coberto com PEBD antiUV nota-se maiores valores absolutos de IAF (2,97). Já no módulo PEBD antiUV + feshnet os maiores valores absolutos foram ALT (33,24 cm) e DC (5,13 mm).

Tabela 10. Dados médios das variáveis biométricas e dados acumulados das variáveis micrometeorológicas dos 27 aos 33 DAP. Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsub); Temperatura do ar (Tar); Umidade Relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA). Recife, 2018.

	PEBD antiUV + ultranet vermelha	PEBD antiUV + branca	PEBD antiUV + freshnet	PEBD antiUV
ALT (cm)	32,67	32,28	33,24	29,78
CC (cm)	12,00	10,97	11,37	9,52
DC (cm)	5,03	4,72	5,13	4,62
IAF	2,57	2,55	2,58	2,97
TCA (cm dia ⁻¹)	2,52	2,47	2,61	2,11
TCADC (cm dia ⁻¹)	0,07	0,03	0,03	0,07
TMF (cm ³ dia ⁻¹)	0,75	0,59	0,73	0,54
Tsub (°C)	210,51	228,18	193,34	203,18
Rg (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	56,72	41,81	33,11	70,18
RFA (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	18,23	13,66	12,39	20,70
Rg/RFA	32,14	32,68	37,43	29,50
Tar (°C)	207,85	208,73	203,88	214,20
UR (%)	474,96	485,09	482,54	457,90

A partir da análise de componentes principais das variáveis biométricas e micrometeorológicas, obtidas nos módulos de cultivo, foram feitas as estimativas dos autovalores a partir da matriz de covariância dos dados, em que o primeiro e o segundo componentes principais explicaram 50,9 % e 24,8 % da variação total dos dados, respectivamente. Isto implica na possibilidade de descrever a variabilidade dos dados e as possíveis associações entre variáveis em apenas dois eixos principais (PC1 e PC2), já que estes dois eixos juntos explicam 75,7 % da variação total dos dados (Figura 28).

Dos 27 aos 33 DAP, o uso de malhas de sombreamento branca e freshnet nos módulos de cultivo proporcionaram maior associação com as variáveis micrometeorológicas de UR e Rg/RFA e com as variáveis biométricas de ALT, CC, DC, TCA e TMF (Figura 28A e 28B). Nota-se ainda que neste período, nos módulos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV, se inicia uma tendência das mudas de cana-de-açúcar acumularem maior taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC) e índice de área foliar (IAF). Esta mudança de comportamento pode estar associada com o estágio de desenvolvimento do sistema metabólico das mudas de cana-de-açúcar, uma vez que as plantas C4 são mais bem adaptadas a extremos de luminosidade e seca (Kluge et al., 2014; Martinez et al., 2015).

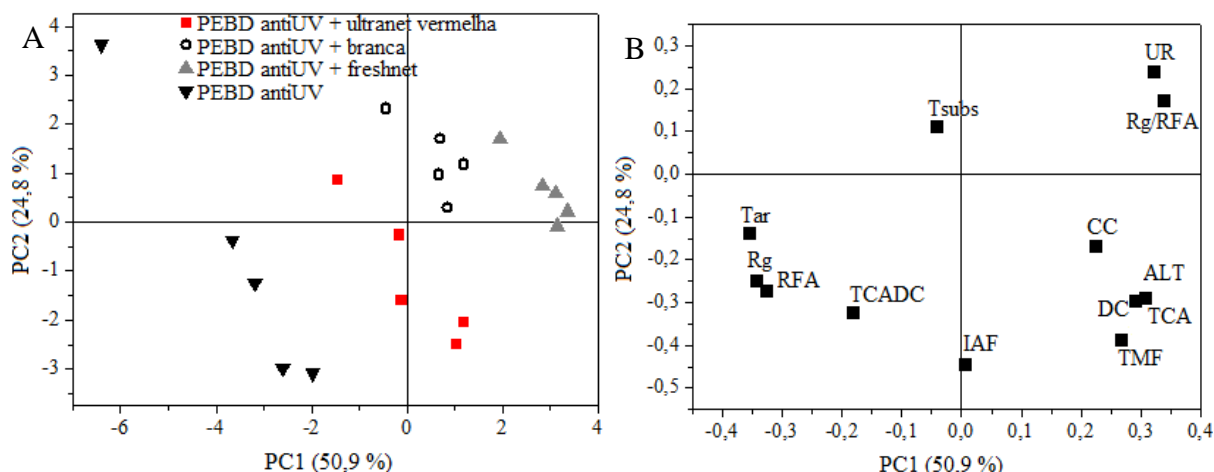


Figura 28. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsub); Temperatura do ar (Tar); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) dos 27 aos 33 DAP. Recife, 2018.

Na Figura 28B observa-se que a Tsub apresentou correlação negativa com as variáveis biométricas das mudas de cana-de-açúcar, dessa forma quanto maior a Tsub menor o desenvolvimento das mudas. O IAF apresentou correlação positiva com a Rg ($r = 0,28$), RFA ($r = 0,27$) e Tar ($r = 0,30$), isto mostra que a partir dos 27 DAP as mudas de cana-de-açúcar necessitaram de maior quantidade de Rg, RFA e Tar para promover incremento em área foliar. Brunini et al. (2016) relataram que uma menor área foliar acaba prejudicando o desenvolvimento das plantas por reduzir a captação de radiação solar e com isso afetar os processos fisiológico e a produção final.

5.1.2.5 Biométricas (34 aos 40 DAP)

Na Tabela 11 observa-se os dados médios das variáveis biométricas de MPB de cana-de-açúcar e os dados acumulados das variáveis micrometeorológicas do período 2, dos 34 aos 40 DAP. As mudas sob PEBD antiUV apresentaram maior valor absoluto de IAF (9,97), já sob o módulo PEBD antiUV + fresnet apresentaram maiores valores absolutos de ALT (57,47 cm), TMF (1,05) e DC (5,28 mm).

Tabela 11. Dados médios das variáveis biométricas e dados acumulados das variáveis micrometeorológicas dos 34 aos 40 DAP. Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsub); Temperatura do ar (Tar); Umidade Relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA). Recife, 2018.

	PEBD antiUV + ultranet vermelha	PEBD antiUV + branca	PEBD antiUV + freshnet	PEBD antiUV
ALT (cm)	54,02	56,72	57,47	51,72
CC (cm)	12,87	13,13	13,11	11,61
DC (cm)	5,09	4,96	5,28	4,94
IAF	9,87	7,29	6,69	9,97
TCA (cm dia ⁻¹)	3,05	3,49	3,46	3,13
TCADC (cm dia ⁻¹)	0,02	0,03	0,02	0,05
TMF (cm ³ dia ⁻¹)	0,82	0,97	1,05	0,89
Tsub (°C)	210,33	226,39	193,61	201,87
Rg (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	48,46	34,84	27,44	61,90
RFA (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	14,92	10,57	9,82	22,03
Rg/RFA	30,79	30,34	35,77	35,59
Tar (°C)	207,67	207,09	203,35	214,89
UR (%)	409,86	422,20	418,71	393,90

Foram feitas as estimativas dos autovalores a partir da matriz de covariância dos dados obtida na análise de componentes principais das variáveis biométricas e micrometeorológicas, em que o primeiro e o segundo componentes principais explicaram 48,5 % e 19 % da variação total dos dados, respectivamente. Isto sugere a possibilidade de descrever a variabilidade dos dados e as possíveis associações entre variáveis em apenas dois eixos principais (PC1 e PC2), já que estes dois eixos juntos explicam 67,5 % da variação total dos dados (Figura 29).

Na Figura 29A observa-se que o módulo com PEBD antiUV + branca apresentou maior associação com as variáveis de Tsub, UR e CC. Dessa forma, nota-se que o CC apresenta maior correção com a Tsub ($r = 0,23$) e com a UR ($r = 0,73$) e uma correlação negativa com a Rg ($r = -0,68$) e RFA ($r = -0,73$). Maiores médias de Tsub e UR no ambiente de cultivo proporcionaram maior CC das MPB de cana-de-açúcar, pois o crescimento satisfatório de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar ocorre com umidade relativa do ar na faixa de 80 % (Silva et al., 2004).

No módulo com PEBD antiUV + branca e PEBD antiUV + fresh foi observado as menores transmitâncias da Rg e RFA para o interior do ambiente, isto ocasionou maiores CC e ALT das mudas cultivadas sob malha sombreamento 50 %. Isto possivelmente ocorreu como

um mecanismo adaptativo para promover mais rápido crescimento em condições de maior intensidade de sombreamento (Moraes-Neto et al., 2000).

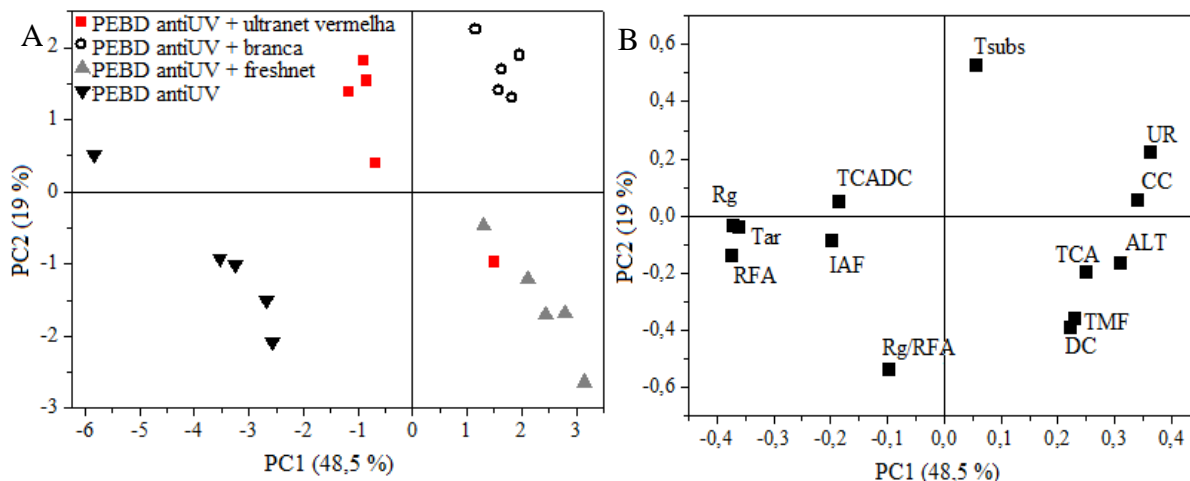


Figura 29. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Altura de plantas (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Índice de área foliar (IAF); Taxa de crescimento absoluto em massa fresca (TMF); Taxa de crescimento absoluto em diâmetro do colmo (TCADC); Taxa de crescimento absoluto em altura (TCA); Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA); Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) dos 34 aos 40 DAP. Recife, 2018.

Nota-se na Figura 29 que o módulo coberto com PEBD antiUV apresentou maior associação com as variáveis micrometeorológicas de Rg, RFA e Tar. As variáveis biométricas de TCADC e IAF também apresentaram maior associação com este módulo de cultivo. Isto confirma o comportamento iniciado aos 27 DAP, em que a partir deste período as mudas necessitaram de maior quantidade de Rg, RFA e Tar para obter maior IAF ($r = 0,68$; $0,63$ e $0,56$, respectivamente) e promover maior TCADC ($r = 0,29$; $0,33$ e $0,42$, respectivamente). Guiselini et al. (2013) relataram que mudas de cana-de-açúcar apresentaram maior índice de área foliar em condições de maior disponibilidade de radiação solar global ($37,66 \text{ MJ m}^2 \text{ semana}^{-1}$) no ambiente de cultivo.

5.1.2.6 Biométricas e fisiológicas (40 DAP)

Os dados médios das variáveis biométricas e fisiológicas de MPB de cana-de-açúcar e os dados acumulados das variáveis micrometeorológicas aos 40 DAP são apresentados na Tabela 12. Nos módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV +

branca apresentaram maior valor absoluto de MSPA ($> 15,31$ g planta⁻¹), Chl a/b ($> 4,45$) e maior mortalidade ($> 13,32$ %). No módulo com PEBD antiUV foram observados maiores valores absolutos de Chl a ($13,66$ mg L⁻¹), CAROT ($3,04$ mg L⁻¹), C.S.T. ($1,67,96$ mg L⁻¹) e SAC ($215,49$ mg L⁻¹). No módulo PEBD antiUV + freshnet observa-se maiores valores absolutos nas variáveis MSR ($9,60$ g planta⁻¹), Chl b ($4,33$ mg L⁻¹) e IQD ($0,78$).

Tabela 12. Dados médios das variáveis biométricas e fisiológicas e dados acumulados das variáveis micrometeorológicas aos 40 DAP. Mortalidade de plantas (MT); Teor Relativo de água (TRA); Condutância estomática (gs); Volume da Raiz (VR); Comprimento da Raiz (CR); Massa Seca da Parte Aérea (MSPA); Massa Seca da Raiz (MSR); Teor de Clorofila b (Chl b), Teor de Clorofila a (Chl a), Relação Clorofila a/b (VLF a/b); Teor de Carboidratos Solúveis Totais (C.S.T.); Teor de Sacarose (SAC); Índice de Qualidade de Mudanças de Dickson (IQD); Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade Relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) acumuladas durante toda etapa 1. Recife, 2018.

	PEBD antiUV + ultranet vermelha	PEBD antiUV + branca	PEBD antiUV + freshnet	PEBD antiUV
MT (%)	13,32	15,03	5,08	10,22
TRA (%)	84,85	87,54	85,43	83,20
gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	301,34	256,63	226,81	364,23
VR (cm ³)	1,48	1,40	1,12	2,16
CR (cm)	16,58	17,94	16,34	16,72
MSPA (g kg ⁻¹)	15,31	15,88	13,60	14,65
MSR (g kg ⁻¹)	7,32	7,00	9,60	8,97
Chl a (mg L ⁻¹)	13,49	13,13	13,52	13,66
Chl b (mg L ⁻¹)	2,33	2,98	4,33	3,81
CAROT. (mg L ⁻¹)	0,38	0,44	0,63	3,04
Chl a/b	5,79	4,45	3,14	3,67
C.S.T. (mg L ⁻¹)	145,19	142,49	117,39	167,96
SAC (mg L ⁻¹)	182,32	169,65	139,52	215,49
IQD	0,72	0,70	0,78	0,74
Tsubs (°C)	1239,93	1351,96	1150,50	1195,26
Rg (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	337,35	259,50	194,37	424,40
RFA (MJ m ⁻² ciclo ⁻¹)	106,02	85,06	71,15	151,03
Rg/RFA	31,43	32,78	36,61	35,59
Tar (°C)	1224,39	1236,70	1207,66	1258,83
UR (%)	2783,89	2816,95	2773,11	2670,89

A partir da matriz de covariância dos dados, obtida na análise de componentes principais das variáveis biométricas e micrometeorológicas, foram feitas as estimativas dos autovalores, em que o primeiro e o segundo componentes principais explicaram 36,3 % e 27,8 % da variação total dos dados, respectivamente. Por explicarem juntos 64,1 % da variação total dos dados, é

possível descrever a variabilidade dos dados e as possíveis associações entre variáveis em apenas dois eixos principais (Figura 30).

Os módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + branca apresentaram maior associação com as variáveis de teor relativo de água (TRA), comprimento da raiz (CR), mortalidade de plantas (MT), massa seca da parte aérea (MSPA), relação clorofila a/b (Chl a/b), Tsub_s e UR (Figura 30).

O TRA apresentou correlação negativa com a condutância estomática (gs) ($r = -0,28$), Rg ($r = -0,34$), RFA ($r = -0,38$) e Tar ($r = -0,18$), dessa forma verifica-se que o teor relativo de água foi menor quanto maior a gs, a disponibilidade de Rg e Tar nestes módulos de cultivo. Assim, a menor intensidade de Rg nos módulos PEBD antiUV + branca e PEBD antiUV + freshnet proveram maior TRA. Entre os módulos com malha de sombreamento, no módulo com malha ultranet vermelha a maior proporção do espectro de luz azul pode ter promovido maior gs, pois o espectro de luz azul aumenta o número de estômatos e a induz processo de abertura estomática (Ouzounis et al., 2014).

A mortalidade de plantas (MT) apresentou maior correlação com a Tsub_s ($r = 0,62$) e assim as maiores Tsub_s nos módulos com PEBD antiUV + ultranet vermelha (Tsub_s = 30,2°C) e PEBD antiUV + branca (Tsub_s = 32,9°C), durante o ciclo de produção, proporcionaram maior mortalidade de mudas. Martins et al. (2007) relataram que temperatura do substrato muito elevada pode prejudicar o crescimento e desenvolvimento das mudas.

A MSPA correlacionou-se positivamente com a Chl a/b ($r = 0,54$), assim a maior relação Chl a/b proporcionou maior acúmulo de MSPA. No módulo com PEBD antiUV + ultranet vermelha, isto ocorreu devido o espectro de luz na faixa do vermelho está mais relacionado com a taxa fotossintética, o que promove maior acúmulo de solutos orgânicos e produção de matéria seca nas plantas (Shin et al., 2008). Graciano et al. (2016) relataram que o maior conteúdo de pigmentos fotossintéticos beneficia a produção de biomassa nas plantas.

No módulo coberto com PEBD antiUV + freshnet verificou-se maior associação com o índice de qualidade de mudas de Dickson (IQD), massa seca da raiz (MSR), teor de clorofila a (Chl a), teor de clorofila b (Chl b) e Rg/RFA (Figura 30A). Dessa forma, quanto maior MSR ($r = -0,19$), IQD ($r = -0,14$), Chl a ($r = -0,23$), Chl b ($r = -0,61$) e Rg/RFA ($r = -0,60$), menor MT de mudas.

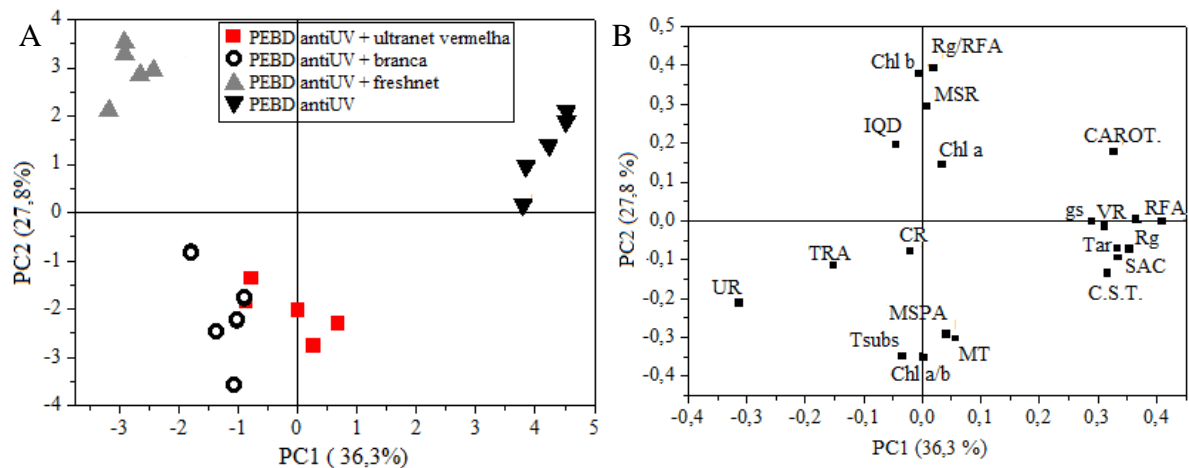


Figura 30. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Mortalidade de plantas (MT); Teor Relativo de água (TRA); Condutância estomática (gs); Volume da Raiz (VR); Comprimento da Raiz (CR); Massa Seca da Parte Aérea (MSPA); Massa Seca da Raiz (MSR); Teor de Clorofila b (Chl b), Teor de Clorofila a (Chl a), Relação Clorofila a/b (Chl a/b); Teor de Carboidratos Solúveis Totais (C.S.T.); Teor de Sacarose (SAC); Índice de Qualidade de Mudas de Dickson (IQD) aos 40 DAP; Temperatura do substrato (Tsubs); Temperatura do ar (Tar); Umidade Relativa do ar (UR); Radiação solar global (Rg); Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e Relação da Rg com a RFA (Rg/RFA) acumuladas durante toda etapa 1. Recife, 2018.

No módulo coberto com PEBD antiUV observou-se maior associação com as variáveis de teor de carotenóides (CAROT), condutância estomática (gs), volume da raiz (VR), RFA, Rg, Tar, teor de sacarose (SAC) e teor de carboidratos solúveis totais (C.S.T.).

A condutância estomática (gs) apresentou correlação positiva com Rg ($r = 0,76$), RFA ($r = 0,76$) e Tar ($r = 0,66$), isto indica que a maior gs foi atingida com maiores valores de Rg, RFA e Tar. Isto por que nestas condições o potencial hídrico da folha não atingiu valores mínimos para induzir o fechamento estomático (Da Costa & Marengo, 2007; Schock et al., 2014). No módulo coberto com PEBD antiUV + ultranet vermelha a redução da relação azul/vermelho proporcionou menor associação com a condutância estomática que o módulo PEBD antiUV, isto devido o espectro de luz azul aumentar o número de estômatos e induzir a abertura dos estomática (Ouzounis et al., 2014; Arena et al., 2016).

O comprimento da raiz (CR) apresentou maior associação com o módulo de cultivo com PEBD antiUV + branca. Entretanto, Rocha et al. (2013) observaram que na faixa do vermelho do espectro de radiação solar (620-780 nm), durante a aclimatização *in vitro*, as plântulas de cana de açúcar apresentaram maior comprimento raízes.

A massa seca da raiz (MSR) correlacionou-se negativamente com a Rg ($r = - 0,1$), Tar ($r = - 0,1$) e UR ($r = - 0,36$). O acúmulo de massa seca pelas plantas é resultado do metabolismo das plantas em função das variáveis ambientais, tornando-se dependente do índice de área

foliar, da temperatura do ar e radiação solar incidente (Holanda et al., 2015; Brunini et al., 2016).

O teor de clorofila a (Chl a) apresentou correlação positiva com a Rg ($r = 0,11$) e RFA ($r = 0,13$). De acordo com Martins et al. (2010), o espectro de luz da região do azul (400-500 nm) promoveu maiores teores de clorofila a, b e total que o espectro de luz vermelha (>590 nm).

Já o teor de clorofila b (Chl b) apresentou correlação negativa com Rg ($r = -0,23$) e correlação positiva com a Rg/RFA, o que evidencia que o Chl b foi maior quando no módulo de cultivo se obteve maior porcentagem de RFA. Silva et al. (2014) relataram que o conteúdo de pigmentos fotossintéticos em plantas de cana-de-açúcar varia quando as plantas são submetidas a situações de estresse e que esta variação é dependente do cultivar utilizado.

A relação entre clorofila a e b (Chl a/b) apresentou maior associação com o módulo coberto com PEBD antiUV + freshnet, isto devido espectro de luz vermelha aumentar a razão entre a clorofila a:b. Sob o espectro de luz vermelha ocorre maior absorção pela clorofila a e menor pela clorofila b e o aumento da relação clorofila a/b indica uma alteração significativa no balanço do fotossistema e pode refletir na eficiência do processo fotossintético (Victório et al., 2007).

Já no módulo coberto com PEBD antiUV + branca a maior associação com a Chl a/b pode ser devido à redução da transmitância da Rg e RFA. Albuquerque et al. (2015) relataram um aumento da Chl a/b com aumento do nível de sombreamento em plantas de castanheira.

O teor de carotenóides (CAROT) correlacionou-se positivamente com a Rg ($r = 0,75$), RFA ($r = 0,87$), Rg/RFA ($r = 0,48$) e Tar ($r = 0,79$). Isto pode ter ocorrido devido um mecanismo de proteção das plantas contra maiores intensidades luminosas, pois além dos carotenóides possuírem bandas de absorção na faixa de 400 à 500 nm, também ajudam a proteger os organismos de danos causados pela alta intensidade luminosa. Além disso, Zhou et al. (2015) observaram que o teor de carotenóides e de bacterioclorofila, pigmento fotossintético presente em bactérias, foram maiores sob espectro de luz amarela, branca e azul, enfatizaram ainda que um faixa de espectro de luz azul é necessário para a síntese destes pigmentos.

O teor de carboidratos solúveis totais (C.S.T.) e o teor de sacarose (SAC) apresentaram correlação positiva com a Rg ($r = 0,81$; $r = 0,91$), RFA ($r = 0,79$; $r = 0,90$), Tar ($r = 0,79$; $r = 0,85$), VR ($r = 0,81$; $r = 0,64$) e CAROT ($r = 0,61$; $r = 0,69$), respectivamente. Dessa forma, observa-se que no módulo de cultivo coberto com PEBD antiUV a maior associação com C.S.T. e SAC são devidos a maior disponibilidade de luz solar para produção de fotoassimilados,

devido a maior quantidade de energia disponível para produção de fotoassimilados (Shin et al., 2008).

5.2 Etapa 2

5.2.1 Variáveis meteorológicas

Esta etapa teve duração de 11 meses (17 de novembro 2016 à 17 de setembro 2017). O valor médio de Rg durante o ciclo de produção foi de $11,16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com valor máximo de Rg no dia 05/02/2017 ($15,77 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e mínimo no dia 28/06/2017 ($4,75 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) (Figura 31). Ferreira-Junior et al. (2012) observaram uma correlação positiva e crescente entre a produtividade de cana-de-açúcar e a Rg interceptada, onde a cada MJ m^{-2} interceptado por plantas de cana-de-açúcar proporcionou o aumento de cerca de 1 grama de açúcar e 6 gramas de colmos frescos por m^2 . Notaram também que a variedade RB92579 obteve uma maior eficiência de conversão energética. A Rg desempenha um papel crucial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, no entanto, espécies com metabolismo fotossintético C_4 não saturam com o aumento da intensidade luminosa, o que proporciona um aumento crescente até taxas máximas de fluência de fótons na superfície terrestre.

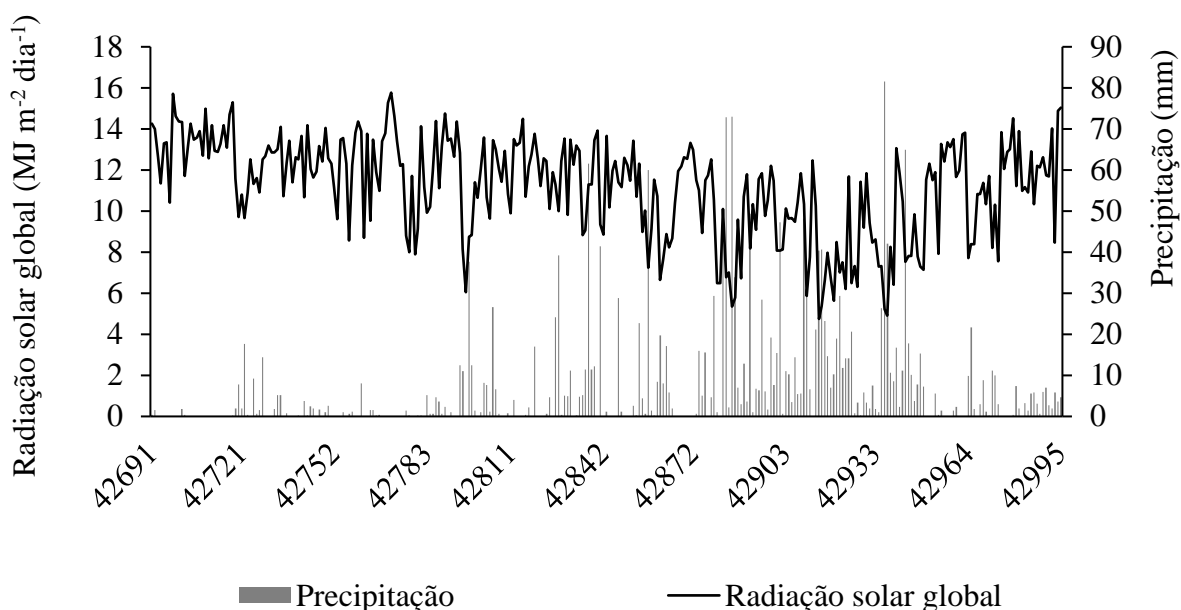


Figura 31. Radiação solar global (Rg; $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e Precipitação (P; mm) durante o ciclo de produção de plantas de cana-de-açúcar. Recife, 2018.

A precipitação total durante o ciclo de produção pode ser verificada na Figura 31, com acumulado de 2186 mm, verifica-se que o mês de junho foi o mais chuvoso com acumulado de 478 mm. Precipitação bem distribuída ao longo do ano e acima de 1500 mm é satisfatória para obtenção de altas produtividade de cana-de-açúcar (Inman-Bamber & Smith, 2005).

Na Figura 32 observa-se a variação da temperatura média do ar (Tar; °C) e velocidade do vento (Vv; m s⁻¹) durante o ciclo de produção de plantas de cana-de-açúcar em condições de campo. A Tar média durante o período experimental foi de 25,03 °C, com máxima de 27,70 °C (no dia 27 de fevereiro de 2017) e mínima de 21,30 °C (no dia 17 de julho de 2017). Estas condições de temperatura do ar são ideais para o cultivo da cana-de-açúcar, pois a faixa de temperatura do ar que não prejudica o desenvolvimento da planta situa-se na mínima de 25 °C e máxima de 33° C. Temperaturas abaixo de 20 °C proporcionam repouso fisiológico e consequentemente paralisação do crescimento (Magalhães, 1987, Ferreira-Júnior et al., 2012).

A vv média durante o período experimental foi de 2,61 m s⁻¹, com máximo de 4,55 m s⁻¹ no mês de julho e mínima de 1,39 m s⁻¹ no mês de maio. A UR média durante o ciclo de produção foi de 77,59 %.

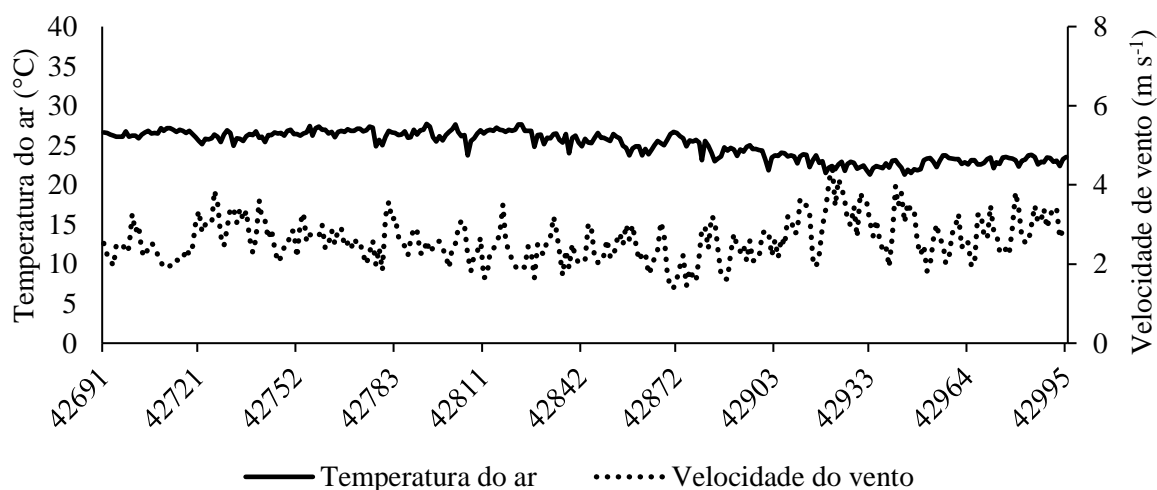


Figura 32. Temperatura média do ar (Tar; °C) e Velocidade do vento (vv; m s⁻¹) durante o ciclo de produção de plantas de cana-de-açúcar. Recife, 2018.

5.2.2 Biométricas e fisiológicas (305 DATP)

Os dados médios das variáveis biométricas e fisiológicas de plantas de cana-de-açúcar correspondentes ao fim etapa de campo, aos 305 DATP, são apresentados na Tabela 13. Nos módulos cobertos com PEBD antiUV + freshnet e PEBD antiUV + ultranet vermelha observa-

se maiores valores absolutos de NPF (> 10,85), Chl a (> 5,89), Chl b (> 2,41), CAROT (> 2,10), Chl a/b (> 2,31), C.S.T. (> 37,27), SAC (> 31) e TCH (> 130,8 t ha⁻¹). Menores valores absolutos de MT (31,5 %) foram observados em plantas obtidas do módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha.

Tabela 13. Dados médios das variáveis biométrica e fisiológicas da etapa de campo. Altura da planta (ALT); Comprimento do colmo (CC); Diâmetro do colmo (DC); Número de perfilhos (NPF); Número de nós (NNÓS); Mortalidade de plantas (MT); Teor de Clorofila b (Chl b), Teor de Clorofila a (Chl a), Relação Clorofila a/b (Chl a/b); Teor de Carboidratos Solúveis Totais (C.S.T.); Teor de Sacarose (SAC) e Tonelada de Cana por Hectare (TCH) aos 305 DATP. Recife, 2018.

	PEBD antiUV + ultranet vermelha	PEBD antiUV + branca	PEBD antiUV + freshnet	PEBD antiUV
ALT (cm)	373,79	388,95	378,80	390,08
CC (cm)	276,95	290,68	291,38	281,33
DC (mm)	28,54	28,13	29,72	29,37
NPF	11,08	9,91	10,85	8,87
NNÓS	21,60	18,90	17,71	19,10
MT (%)	31,50	42,00	44,00	46,50
Chl a (mg L ⁻¹)	5,89	4,39	6,72	4,60
Chl b (mg L ⁻¹)	2,41	2,31	2,93	2,24
CAROT (mg L ⁻¹)	2,20	1,56	2,10	1,72
Chl a/b	2,44	1,91	2,31	2,06
C.S.T. (mg L ⁻¹)	42,25	38,11	37,27	33,05
SAC (mg L ⁻¹)	34,58	30,91	31,00	23,38
TCH (t ha ⁻¹)	145,89	109,76	130,80	94,76

A partir dos dados das variáveis biométricas e fisiológicas das plantas de cana-de-açúcar, provenientes de mudas produzidas em diferentes módulos de cultivo, foram obtidas as estimativas dos autovalores a partir da matriz de covariância dos dados, assim, observou-se que os dois componentes principais explicaram 33 % e 18,8 % da variação total dos dados. Por explicarem juntos 51,8 % da variação total dos dados, é possível descrever a variabilidade dos dados e as possíveis associações entre variáveis em dois eixos principais (Figura 33).

As plantas provenientes dos módulos cobertos com PEBD antiUV + vermelha e PEBD antiUV + freshnet quando cultivadas em condições de campo apresentaram maior associação com as variáveis a direita da Figura 33B.

Nota-se ainda que as plantas originadas dos módulos com PEBD antiUV + branca e PEBD antiUV se associaram com as variáveis de mortalidade de plantas (MT), diâmetro do

colmo (DC), comprimento do colmo (CC) e altura da planta (ALT). Dessa forma, estes módulos de cultivo proporcionaram maior MT de plantas em condições de campo.

A MT apresentou correlação negativa com o teor de sacarose ($r = -0,25$), assim quanto maior o teor de sacarose nas plantas menor a MT. Alguns estudos apontam que o aumento do teor de sacarose na planta estimula a formação de raízes, o que pode ter proporcionado menor taxa de MT das plantas em condições de campo (George et al., 2008).

O DC apresentou correlação negativa com ALT ($r = -0,10$), NPF ($r = -0,14$) e NNÓS ($r = -0,36$), dessa forma quanto maior o valor destas variáveis menor foi o diâmetro do colmo. Costa et al. (2011) observaram que o diâmetro do colmo de plantas de cana-de-açúcar vai variar em função da altura da planta, número de perfilhos, espaçamento utilizado e condições climáticas, assim notaram que quanto maior a altura da planta menor foi o diâmetro do colmo.

Os módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + freshnet foram os que apresentaram maior associação com o número de nós (NNÓS). Uma característica de grande importância quando se trata no cultivo da cana semente para produção de MPB, pois permite a obtenção do maior número de MPB de cana-de-açúcar por colmo colhido.

As mudas provenientes dos módulos cobertos com PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + freshnet apresentaram maior associação com teor de clorofila a (Chl a) e teor de clorofila b (Chl b) (Figura 33). A Chl a e Chl b apresentaram maior correlação positiva com o teor de carotenóides (CAROT) ($r = 0,79$ e $r = 0,55$, respectivamente). Isto devido os carotenóides possuem a função de proteger os pigmentos fotossintéticos dos danos causados pela alta intensidade luminosa (Silva et al., 2014; Zhou et al., 2015).

O teor de carboidratos solúveis totais (C.S.T.) e o teor de sacarose (SAC) apresentaram maior associação com as plantas proveniente do módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha, seguida pela PEBD antiUV + freshnet. C.S.T. apresentou maior correlação com NPF ($r = 0,55$), NNÓS ($r = 0,36$), e CAROT ($r = 0,30$). O SAC apresentou maior correlação com NPF ($r = 0,52$), Chl a ($r = 0,21$), Chl b ($r = 0,32$) e CAROT ($r = 0,20$). A maior associação destes módulos de cultivo com relação de Chl a/b nas plantas de cana-de-açúcar, assim como os maiores teores de Chl a e Chl b, possivelmente proporcionaram maior taxa fotossintética nas plantas e com isso são geradas maiores quantidades de carboidratos e sacarose a partir do APT produzido na etapa fotossintética (Victório et al., 2007; Graciano et al., 2016).

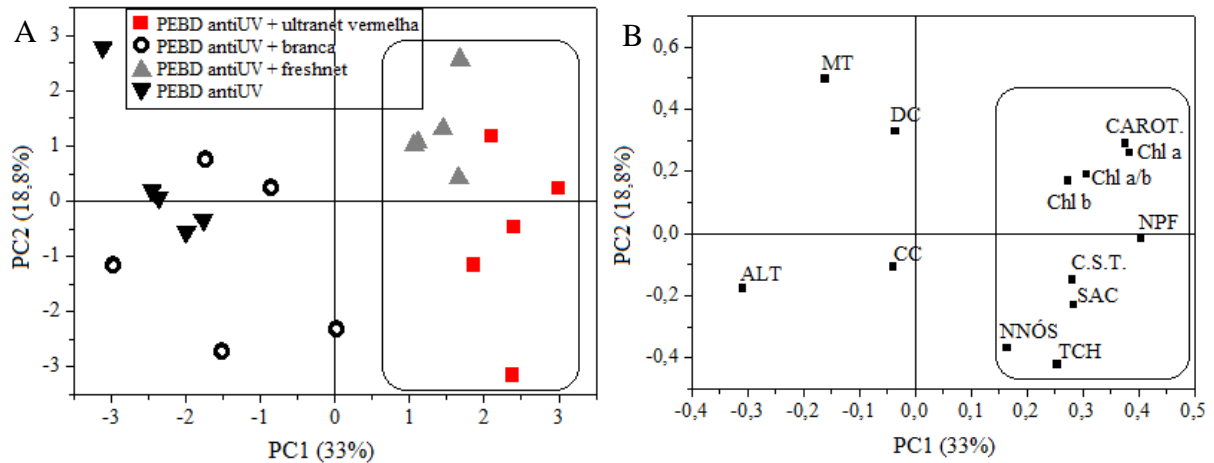


Figura 33. Gráficos dos escores do componente principal 1 (PC1) vs componente principal 2 (PC2) dos módulos (A; objetos) e das variáveis (B; pesos): Mortalidade de plantas (MT); Diâmetro do Colmo (DC); Comprimento do Colmo (CC); Altura da Planta (ALT); Número de Nós (NNÓS); Número de Perfilhos (NPF); Teor de Clorofila b (Chl b), Teor de Clorofila a (Chl a), Relação Clorofila a/b (Chl a/b); Teor de carotenóides (CAROT); Teor de Carboidratos Solúveis Totais (C.S.T.); Teor de Sacarose (SAC); Toneladas de Cana por Hectare (TCH) aos 305 DATP. Recife, 2018.

A tonelada de cana por hectare (TCH) apresentou maior associação com os módulos PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + freshnet (Figura 33). TCH correlacionou-se positivamente com CC ($r = 0,22$); NPF ($r = 0,44$), NNÓS ($r = 0,39$), Chl a ($r = 0,28$), Chl b ($r = 0,24$) e SAC ($r = 0,39$). Na Figura 34 pode-se observar os valores médios de TCH aos 336 DAP. Nota-se TCH médio máximo de 145,9 de $t\ ha^{-1}$ para plantas provenientes do módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha e mínimo de 94,8 $t\ ha^{-1}$ para plantas do módulo PEBD antiUV. Daros et al. (2010) relataram que a produtividade média da variedade RB92579 na região Nordeste situa-se acima de 80 $t\ ha^{-1}$, em condições de sequeiro, e acima de 140 $t\ ha^{-1}$, em condições de irrigação plena. Costa et al. (2011) relataram que a cultivar RB92579 apresentou produtividade média de 89,07 $t\ ha^{-1}$ na região de Rio Largo-AL.

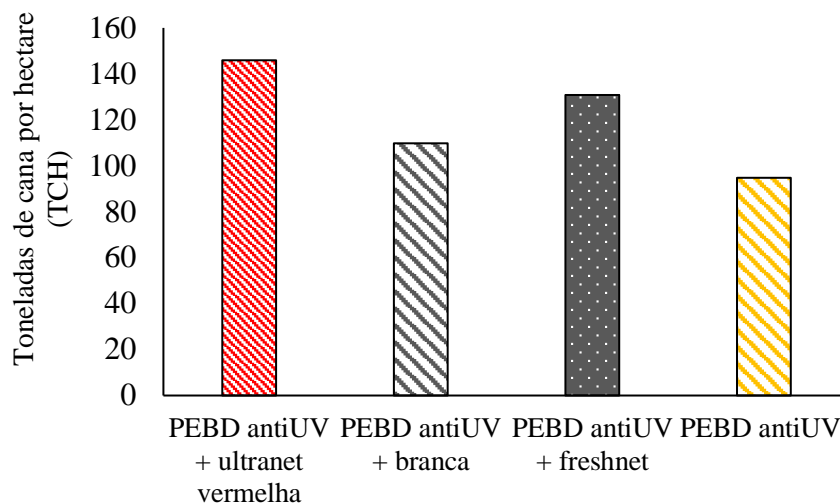


Figura 34. Tonelada de cana por hectare (TCH, $t\ ha^{-1}$) de plantas provenientes de MPB de cana-de-açúcar cultivadas sob diferentes módulos de cultivo.

Diante dos resultados obtidos recomenda-se a utilização do plástico PEBD antiUV + malha branca até os 12 DAP para obter maior porcentagem de brotação de MPB de cana-de-açúcar.

Após o período de brotação deve-se substituir a malha branca pela malha freshnet para obter mudas de maior qualidade e uma menor porcentagem de mortalidade em ambiente protegido. Além disso, em condições de campo as mudas provenientes do cultivo sob malha freshnet apresentaram maiores teores de carboidratos, sacarose e uma produção acima de $130\ t\ ha^{-1}$.

6 Conclusões

A Tar do ambiente protegido foi maior em cerca de 8 % em relação ao ambiente externo.

No módulo de cultivo coberto com PEBD antiUV + fresnet observou-se menor transmitância da Rg (24,3 %), maior porcentagem de RFA (37 %) e o 27% de radiação solar no espectro do vermelho (625 – 700 nm) entre os módulos de cultivo.

Nos módulos de cultivo PEBD antiUV + branca e PEBD antiUV + ultranet vermelha observou-se 18 % de radiação solar do espectro do azul (440-485 nm) que os demais módulos de cultivo e proporcionou maior Tsubs, PCE, IVB e % B.

Após o período de brotação, a Tsubs acima de $30,2\ ^\circ C$ ocasionou maior mortalidade de mudas.

O maior espectro na faixa do vermelho (625 – 700 nm) proporcionou maior Chl a, Chl b e IQD em ambiente protegido.

Em ambiente protegido o uso de PEBD antiUV + branca até os 12 DAP proporciona maior velocidade e porcentagem de brotação.

Dos 13 aos 27 DAP o uso de PEBD antiUV + malha de sombreamento promove maior crescimento e desenvolvimento de MPB de cana-de-açúcar.

Nos módulos com PEBD antiUV + freshnet promove menor mortalidade de mudas em ambiente protegido.

Mudas produzidas sob PEBD antiUV + ultranet vermelha e PEBD antiUV + freshnet apresentam maior TCH (tonelada de cana por hectare) ao final do ciclo de produção em campo.

Plantas formadas de mudas provenientes do módulo PEBD antiUV + ultranet vermelha apresentaram menor mortalidade em campo.

Aos 305 DATP as plantas provenientes dos módulos PEBD antiUV + freshnet e PEBD antiUV + ultranet vermelha acumularam maiores teores de pigmentos fotossintéticos, carboidratos, sacarose, maior perfilhamento e maior quantidade de tonelada de cana por hectare estimado.

7 Referências bibliográficas

ACRECHE, M.M. Nitrogen-, water-and radiation-use efficiencies affected by sugarcane breeding in Argentina. **Plant Breeding**, v.136, p.174-181, 2017.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS – APAC. Disponível em: < <http://www.apac.pe.gov.br> >. Acesso em: 15 Dez. 2017.

ALBUQUERQUE, T.C.S.; EVANGELISTA, T.C.; DE ALBUQUERQUE NETO, A.A.R. Níveis de sombreamento no crescimento de mudas de castanheira do Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.9, p.440-445, 2016.

ALCANTARA, G.B.; MACHADO, M.P.; RIBEIRO, D.S.; WIPPEL, H.H.; BESPALHOK FILHO, J.C.; OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E. Multiplicação, alongamento e enraizamento de brotações in vitro de clones de cana-de-açúcar submetidos a diferentes concentrações de 6-

benzilaminopurina e ácido giberélico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.5, p.20-25, 2014.

AL-JAMAL, K. Greenhouse cooling in hot countries. **Energy**, v.19, p.1187-1192, 1994.

ANDERSON, R.G.; TIRADO-CORBALÁ, R.; WANG, D.; AYARS, J.E. Long-rotation sugarcane in Hawaii sustains high actéri accumulation and radiation use efficiency in 2nd year of growth. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.199, p.216–224, 2015.

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

ANTUNES, L.E.C.; CAMPOS, A.D.; DUARTE FILHO, J.; MEDEIROS, A.R.M. de; SANTOS, A.M. dos. **Sistema de produção do morango. Embrapa clima temperado.** Sistema de produção 5. (Versão Eletrônica), 2005.

ARENA, C.; TSONEV, T.; DONEVA, D.; DE MICCO, V.; MICHELOZZI, M.; BRUNETTI, C.; LORETO, F. The effect of light quality on growth, photosynthesis, leaf anatomy and volatile isoprenoids of a monoterpene-emitting herbaceous species (*Solanum lycopersicum* L.) and em isoprene-emitting tree (*Platanus orientalis* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v.130, p.1-36, 2016.

ARRIGONI-BLANK, M.D.F.; TAVARES, F.F.; BLANK, A.F.; SANTOS, M.C.D.; MENEZES, T.S.A.; SANTANA, A.D.D.D. In vitro conservation of sweet potato genotypes. **The Scientific World Journal**, v.1, p.1-7, 2014.

ARTHURS, S.P.; STAMPS, R.H.; GIGLIA, F.F. environmental modification inside photoselective shadehouses. **Hortscience**. v.48, p.975–979. 2013.

AUDE, M.I.S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, v.23, p.241-248, 1993.

BELLASIO, C. & GRIFFITHS, H. Acclimation of C₄ metabolism to low light in mature maize leaves could limit energetic losses during progressive shading in a crop canopy. **Journal of Experimental Botany**, v.65, p.3725–3736, 2014.

BEZERRA NETO, E. & BARRETO, L.P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas. Recife: Editora Universitária da Ufrpe**, 2011. 161p.

BOROWSKI, E.; MICHAŁEK, S.; RUBINOWSKA, K.; HAWRYLAK-NOWAK, B.; GRUDZIŃSKI, W. The effects of light quality on photosynthetic parameters and yield of lettuce plants. **Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus**, v.14, p.177-188, 2015.

BRAGA, F.T. **Ambiente de cultivo na propagação in vitro de Crisântemo (Dendranthema grandiflora Tzvelev cv. Rage): características anatômicas e fisiológicas**. 2006. 119f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BRANT R.S.; PINTO J.E.B.P.; ROSAL L.F.; ALBUQUERQUE C.J.B.; BERTOLUCCI S.K.V.; CORREA R.M. Crescimento de melissa cultivada sob malhas fotoconversoras. **Horticultura Brasileira**, v.26, p.56-60, 2008.

BRANT, R.S.; PINTO, J.E.B.P.; ROSA, L.F.; ALBUQUERQUE, C.J.B.; FERRI, P.H.; CORRÊA, R.M. Crescimento, teor e composição do óleo essencial de melissa cultivada sob malhas fotoconversoras. **Ciência Rural**, v.39, p.1401-1407, 2009.

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, p.841-849, 2016.

BUCKERIDGE, M.S.; MORTARI, L.C.; MACHADO, M.R. (2007). Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema. In: Rego, G.M., Negrelle, R.R.B & Morellato, L.P.C. **Fenologia – Ferramenta para conservação e manejo de recursos vegetais arbóreos**. – Colombo, PR: Embrapa Florestas. Cap.12, p.213-230

CANTU, R.R.; GOTO, R.; JUNGLAUS, R.W.; GONZATTO, R.; CUNHA, A.R. Uso de malhas pigmentadas e mulching em túneis para cultivo de rúcula: efeito no ambiente e nas plantas modelo. **Ciência Rural**, v.43, p.810-815, 2013.

CLEMENTS, H.F. Factors affecting the germination of sugarcane. **Hawaiian Planter's Record**, v.44, p.117-146, 1940.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**, v. 1 – Safra 2014/15, n.3 – Terceiro Levantamento, Brasília, p. 1-27, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**, v. 2 – Safra 2015/16, n.1 – Primeiro Levantamento, Brasília, p. 1-27, 2015.

COSTA, C.T.S.; FERREIRA, V.M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D.T.R.G.; GONÇALVES, E.R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, v.24, p.56-63, 2011.

COSTA, E.; DIAS, J.G.; LOPES, K.G.; BINOTTI, F.F.D.S.; CARDOSO, E.D. Telas de sombreamento e substratos na produção de mudas de *Dipteryx alata* Vog. **Floresta e Ambiente**, v.22, p.416-425, 2015.

COSTA, E.; MARTINS, R.F.; FARIA, T.A.; JORGE, M.H.; LEAL, P. A. Seedlings of *Acrocomia aculeata* in different substrates and protected environments. **Engenharia Agrícola**, v.34, p.395-404, 2014.

DA COSTA, G.F. & MARENCO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, v.37, p.229-234, 2007.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R.A.; ZAMBON, J.L.C.; BESPALHOK FILHO, J.C. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar. **Curitiba: Ridesa**, 2010.

DE ARAUJO, H.F.; LEAL, P.A.M.; ZORZETO, T.Q.; BETIN, P.S.; NUNES, E.F.; SERVILHA, G.F.P. Alterações micrometeorológicas em ambientes protegidos cultivados com minitomate orgânico. **Irriga**, v.21, p.226-238, 2016.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v.36, p.10-13, 1960.

DIOLA, V.; SANTOS, F. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. In Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol: Tecnologias e Perspectivas (eds SANTOS, F.; BORÉM, A. CALDAS, C. 2ed. Viçosa: Folha de Viçosa Ltda, 2012, p.25-50.

FAO – **Food And Agricultura Organization os the United Nations. Statistical data bases**. 2011. <<http://www.fao.org>>. 23 set. 2015.

FAOSTAT – **Food and agriculture organization of the United nations statistics**. 2016. <<http://faostat.fao.org/>>. 28 Maio 2016.

FERRARI, D.L. & LEAL, P.A.M. Use of thermoreflective screens on greenhouses for tomato production. **Engenharia Agrícola**, v.35, p.180-191, 2015.

FERREIRA JUNIOR, R.A.; DE SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; TEODORO, I., DOS SANTOS, M.A.; PORFIRIO, A. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.16, p.1229-1236, 2012.

FERREIRA, L.T.; SILVA, M.M.A.; 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, p.46-52, 2016.

FERREIRA, P.V. **Estatística Experimental Aplicada à Agronomia**. 3.ed. Maceió: Editora UFAL, 2000. 430p.:il., tab.

FERREIRA, R. de C.; BEZERRA, R.deS.; RODA, J.Q.S. Effects of light intensity modification by reflective aluminized screenhouse on sweet pepper growth and yield. **Engenharia Agrícola**, v.34, p.626-635, 2014.

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

FERREIRA-JUNIOR, R.A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; SANTOS, M.A.; PORFIRIO, A.C.S. Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental**, v.16, p.1229-1236, 2012.

FLOSS, E.L. **Fisiologia de plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. Passo Fundo: UPF, 2004. 536p.

FRAGA-JÚNIOR, E.F. **Considerações sobre o manejo de irrigação na produtividade e qualidade de gemas de cana-de-açúcar para viveiros de mudas-pré-brotadas (MPB)**. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2015. 110p.: il

FRANCO, A.C.; ROSSATTO, D. R.; SILVA, L.C.R.; FERREIRA, C.S. Cerrado vegetation and global change: the role of functional types, resource availability and disturbance in regulating plant community responses to rising CO₂ levels and climate warming. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.26, p.19-38, 2014.

GAMA, D. R. D. S., MESQUITA, A. C., YURI, J. E., FERREIRA, K. M., & SOUZA, V. Different shading environments impact growth and yield of three mini-tomato cultivars. **Revista Caatinga**, v.30, p.324-334, 2017.

GEORGE, E.F.; HALL, M.A.; KLERK, G.D. **Plant propagation by tissue culture**. The blackground, Ed: Springer, 3rd edition, v.1, 2008. 503p.

GONÇALVES, L.A. **Quantificação do ar atmosférico**. Universidade de Uberaba, UNIUBE. Uberaba-MG, 2012.

GRACIANO, E.S.A.; SANTOS, H.R.B.; NOGUEIRA, R.J.M.C. Gas exchange, photochemical efficiency and photosynthetic pigments of peanut cultivars under water deficit in the soil. **Applied Research & Agrotechnology**, v.9, p.27-36, 2016

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.; PANDORFI, H.; BARROS, A.C.B.; SILVA, L.F. & NETO, S.P.S. 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, p.877-882, 2013.

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.

GUPTA, V.; RAGHUVANSHI, S.; GUPTA, A.; SAINI, N.; GAUR, A. KHAN, M. N.; GUPTA, R.S.; SINGH, J.; DUTTAMAJUMDER, S.K.; SUMAN, A.; KHURANA, J.P.; KAPUR, R. & TYGI, A.K. The water-deficit stress and red-rot-related genes in sugarcane. **Functional Integrative Genomics**, v.10, p.207-214, 2010.

HASPERUÉ, J.H., GUARDIANELLI, L., RODONI, L.M., CHAVES, A.R., MARTÍNEZ, G.A. Continuous white-blue LED light exposition delays postharvest senescence of broccoli. **LWT-Food Science and Technology**, v.65, p.495-502, 2016.

HENRIQUE, P.C.; ALVES, J.D.; DEUNER, S.; GOULART, P.F.P.; LIVRAMENTO, D.E. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, p.458-465, 2011.

HERMANN, E.R. & G.M.S. CÂMARA. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v.17, p.32-34, 1999.

HIRATA, A.C.S. & HIRATA E.K. Desempenho produtivo do agrião d'água cultivado em solo sob telas de sombreamento. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.50, p.895-901, 2015.

HOLANDA, L.A.; SANTOS, C.M.; NETO, G.D.S.; DE PÁDUA SOUSA, A.; DE ALMEIDA SILVA, M. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v.19, p.573-584, 2015.

HOLCMAN, E.; SENTELHAS, P.C. Crescimento e desenvolvimento de bromélias em ambiente protegido, cobertos com PEBD e diferentes malhas de sombreamento. **Horticultura Brasileira**, v.31, p.386-391, 2013.

HOLCMAN, E; SENTELHAS, P.C. Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.16, p.858-863, 2012.

HOLICK, M.F. Biological effects of sunlight, ultraviolet radiation, visible light, infrared radiation and vitamin D for health. **Anticancer research**, v.36, p.1345-1356, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola 2015**.

ILIC, Z.S.; MILENKOVIC, L.; STANOJEVIC, L.; CVETKOVIC, D. FALLIK, E. Effects of the modification of light intensity by color shade nets on yield and quality of tomato fruits. **Scientia Horticulturae**, v.139, p.90-95, 2012.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficit. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.

JEFFERSON, P.G. & MURI, R. Light quality effects on grass seedling growth and development. **Plant Physiology and Growth**, v.7, p.67-68, 1997.

KATARIA, S.; & GURUPRASAD, K.N. Intraspecific variations in growth, yield and photosynthesis of sorghum varieties to ambient UV (280–400 nm) radiation. **Plant Science**, v.196, p.85-92, 2012.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2Ed. Guanabara Koogan, 2008. 472p.

KIM, S.J.; HAHN, E.J.; HEO, J.W.; PEAK, K.Y. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets *in vitro*. **Scientia Horticulturae**, v.101, p.143-151, 2004.

KLEIN, J., RAMPIM, L., KESTRING, D., GUIMARÃES, V.F.; RODRIGUES, J.D. Influência de protetores físicos coloridos nas trocas gasosas em mudas de canafístula [*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.]. **Ciência Florestal**, v.26, p.797-809, 2016.

KLEIN, R.M. Effects of green light on biological systems. **Biological Reviews**, v.67, p.199-284, 1992.

KLUGE, R.A.; TEZOTTO-ULIANA, J.V. & DA SILVA, P.P. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista Virtual de Química**, v.7, p.56-73, 2014.

LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; et al. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. 2^a. Ed. Revisada. Campinas: Instituto Agrônômico, 2013. 16 p; (Documentos IAC, N. 109) online.

LIMA, E.M.C.; MALLER, A.; HARA, A.T.; REZENDE, F.C. & CARVALHO, J.A. Efeito de diferentes níveis de água no solo na produção do rabanete cultivado em dois tipos de ambientes protegidos. **Engenharia na Agricultura**, v.23, p.346-354, 2015.

LINCHENTHALER, H.R.; WELLBURN, A.R. Determination of total carotenoides and chlorophyll a and b of leaf extracts in diferent solvents. **Biochem. Soc. Trans.**, v.5, p.1591-1592, 1983.

LIU, D.L.; KINGSTON, G.; BULL, T.A. A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including sub optimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.90, p.119-139, 1998.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: Castro, P. R. C.; Ferreira, S. O.; Yamada, T. (Ed.). **Ecofisiologia da Produção Agrícola. Piracicaba**: Potafós, 1987. p.113-118.

MALUTA, F.A.; BORDIGNON, S.R.; ROSSI, M.L.; AMBROSANO, G.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.

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, p.163-181, 2015.

MARCHIORI P.E.R., MARCHADO E.C., RIBEIRO R.V. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field-grown sugarcane varieties. **Field Crops Research**, v.155, p.30-37, 2014.

MARTINEZ, C.A.; OLIVEIRA, E.A.D.; MELLO, T.R.P.; ALZATE-MARIN, A.L. Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, p.635-650, 2015.

MARTINS, F.B.; SILVA, J.C.; STRECK, N.A. estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, v.31, p.373-381, 2007

MARTINS, J.R.; ALVARENGA, A.A.; CASTRO, E.M.; PINTO, J.E.B.P.; SILVA, A.P.O. Avaliação do crescimento e do teor de óleo essencial em plantas de *Ocimum gratissimum* L. cultivadas sob malhas coloridas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.10, p.102-107, 2008.

MARTINS, J.R.; ALVARENGA, A.A.; CASTRO, E.M.; SILVA, A.P.O.; OLIVEIRA, C.; ALVES, E. Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. **Ciência Rural**, v.39, p.82-87, 2009.

MARTINS, J.R.; DE ALVARENGA, A.A.; DE CASTRO, E.M.; DA 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, p.64-69, 2010.

MASABNI, J., SUN, Y., NIU, G., DEL VALLE, P. Shade Effect on Growth and Productivity of Tomato and Chili Pepper. **HortTechnology**, v.26, p.344-350, 2016.

MATOSO, E.S.; DE MARCO, E.; BELLÉ, C.; RODRIGUES, T.A.; DOS ANJOS, S.D. Desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas. **Revista da Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, v.1, p.412-434, 2016.

MEIRELLES, A.J.A.; PAIVA, P.D.O.; OLIVEIRA, M.I.; TAVARES, T.S. Influência de diferentes sombreamentos e nutrição foliar no desenvolvimento de mudas de palmeira ráfia *Rhapis Excelsa* (thunberg) henry ex. rehder. **Ciência e agrotecnologia**, v.31, p.1884-1887, 2007.

MELO, A.A.M. & ALVARENGA, A.A. Sombreamento de plantas de *Catharanthus roseus* (L.) G. Don 'Pacífica White' por malhas coloridas: desenvolvimento vegetativo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.514-520, 2009.

MORAES, R.A.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Determination of total accumulated rainfall, global radiation, evapotranspiration and degree-days originated from the ECMWF model to sugar cane crop. **Engenharia Agrícola**, v.34, p.322-331, 2014.

MORAES-NETO, S. P.; GONÇALVES, J.L.M.; TAKAKI, M.; CENCI, S.; GONÇALVES, J.C. Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na mata atlântica, em função do nível de luminosidade. **Revista Árvore**, v.24, p.35-45, 2000.

MORGAN, J.A.; LECAIN, D.R.; PENDALL, E.; BLUMENTHAL, D.M.; KIMBALL, B.A.; CARRILLO, Y.; WILLIAMS, D.G.; WHITE, J.H.; DIJKSTRA, F.A.; WEST, M. C4 grasses prosper as carbon dioxide eliminates desiccation in warmed semi-arid grassland. **Nature**, v.476, p.202-205, 2011.

MOZAMBANI, A.E.; PINTO, A.deS.; SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M. História e Morfologia da Cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.deS.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415p.: il.

MUNEER, S.; KIM, E.J.; PARK, J.S.; LEE, J.H. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under deference light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). **International journal of molecular sciences**, v.15, p.4657-4670, 2014.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA R. D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 49-85.

NASCIMENTO, M.E.; PINTO, J.E.B.P.; SILVA JR.J.M.; CASTRO, E.M.; SANTOS, F.M. Plasticidade foliar e produção de biomassa seca em *Copaifera langsdorffii* Desf. Cultivada sob diferentes espectros de luz. **Revista de Ciências Agrárias: Amazonion Journal of agricultural and Environmental Sciences**, v.57, p.41-48, 2014.

NASCIMENTO, W.M.; DIAS, D.C.F.S. & SILVA, P.P. 2011. Qualidade da semente e estabelecimento de plantas de hortaliças no campo. Em: Hortaliças: **Tecnologia de produção de sementes**. Nascimento, W.M. (Editor técnico). Embrapa hortaliças, Brasília p.79-106.

NEVES et al. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010.

NOBEL, P.S. **Physicochemical & environmental plant physiology**. Academic press, 2009.

OLIVEIRA, A.L.B.; FERREIRA, L.T.; HERCULANO, L.; OLIVEIRA, R.A.; PEREIRA, J.A.F.; CAMARA, T.R. Ação do hipoclorito na assepsia de explantes de cana-de-açúcar para embriogênese somática. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFRPE, 2010, Recife. **Anais...** Recife: Editora da UFRPE, 2010. JEPEX. R0720-1.

OLIVEIRA, E.C.; CARVALHO, J.A.; ALMEIDA, E.F.A.; REZENDE, F.C.; SANTOS, B.G. & MIMURA, S.N. Evapotranspiração da roseira cultivada em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.314–321, 2014.

OLIVEIRA, G.M.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; ROCHA, R.C. Temperatura do ar no interior e exterior de ambientes protegidos. **Revista Verde**, v.7, p.250-257, 2012.

OLIVEIRA, M.C.de.; OGATA, R.S.; ANDRADE, G.A.; SANTOS, D.S.; SOUZA, R.M.; GUIMARÃES, T.G.; SILVA JÚNIOR, M.C.; PEREIRA, D.J.S.; RIBEIRO, J.F. **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. Editora Rede de Sementes do Cerrado, 2016. 124p.

OLIVEIRA, M.I.; CASTRO, E.M.; COSTA, L.C.B.; OLIVEIRA, C. Características biométricas, anatômicas e fisiológicas de *Artemisia vulgaris* L. cultivada sob telas coloridas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.11, p.56-62, 2009.

ÖRDÖG, V. & MOLNÁR, Z. **Plant Physiology**. 2011. Disponível em:<http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_angol_01_novenyelettan/pr01.html>. Acesso em 10 abril 2016.

OREN-SHAMIR, M.; EUGENE, E.G.; ELIEZER, S.; ADA, N.; KIRA, R.; RINAT, O.; YURI, E.G.; YOSEPHA, S. Colored shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.76, p.353-361, 2001.

OTONI, B.D.S., da MOTA, W.F., BELFORT, G.R., SILVA, A.R.S., VIEIRA, J.C.B., ROCHA, S.L. Produção de híbridos de tomateiro cultivados sob diferentes porcentagens de sombreamento. **Ceres**, v.59, p.816-825, 2015.

OUZOUNIS, T.; FRETTÉ, X.; OTTOSEN, C.O.; ROSENQVIST, E. Spectral effects of LEDs on chlorophyll fluorescence and pigmentation in *Phalaenopsis* ‘Vivien’ and ‘Purple Star’. **Physiologia plantarum**, v.154, p.314-327, 2015.

OUZOUNIS, T.; FRETTÉ, X.; ROSENQVIST, E.; OTTOSEN, C.O. Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, *Chrysanthemums*, and *Campanulas*. **Journal of plant physiology**, v. 171, p.1401-1499, 2014.

OUZOUNIS, T.; PARJIKOLAEI, B.R.; FRETTÉ, X.; ROSENQVIST, E.; OTTOSEN, C.O. Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigments in *Lactuca sativa*. **Frontiers in plant science**, v.6, p.1-19, 2015.

PAIVA, L.C.; GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, C.A.S. Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, p.134-140, 2003.

PAULINO, J. **Crescimento e qualidade de pião manso (*Jatropha curcas* L.) produzidas em ambiente protegido**. Dissertação (mestrado). Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009. 96p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. 60p.

PEREIRA, M.S. **Manual técnico Conhecendo e produzindo sementes e mudas da caatinga**. Fortaleza: Associação Caatinga, 2011, 60 p.

PEREIRA, F.H.F.; DA SILVA SÁI, F.V.; FINGERII, M.P.F.L.; CECONI, P.R. Crescimento de planta, partição de assimilados e produção de frutos de melão amarelo sombreado por diferentes malhas. **Ciência Rural**, v.45, p.1774-1781, 2015.

PINTO, J.E.B.P.; FERRAZ, E.O.; BERTOLUCCI, S.K.V.; SILVEIRA, H.R.O., SANTOS, A.R.; SILVA, G.M. Produção de biomassa e óleo essencial em mil folhas cultivada sob telas coloridas. **Horticultura Brasileira**, v.32, p.321-326, 2014.

RAMPAZZO, R.; SEABRA JUNIOR, S.; NUNES, M.C.M.; NEVES, S.M.A.daS.; FERREIRA, R.F. Eficiência de telas termorrefletoras e de sombreamento em ambiente protegido tipo telado sob temperaturas elevadas. **Revista Engenharia na Agricultura**. v.22, p.33, 2014.

REBOUÇAS, P.M.; Dias, Í.F.; Alves, M.A.; Barbosa Filho, J.A.D. Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. **Revista Agrogeoambiental**, v.7, p.115-125, 2014.

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

REIS, L.S.; SOUZA, J.L.S.; 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, p.739–744, 2012.

REYNOLDS, W.; MILLER, G.; RUFTY, T. Athletic field paint impacts light spectral quality and turfgrass photosynthesis. **Crop Science**, v.52, p.2375-2384, 2012.

ROBERTSON, G.W. The light composition of solar and sky spectra available to plants. **Ecology**, v.47, p.640-643, 1966.

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, p.1168-1173, 2013.

SANCHES, C.F.; COSTA, E.; DA COSTA, G.G.; BINOTTI, F.F.D.S.; CARDOSO, E.D. Hymenaea courbaril seedlings in protected environments and substrates. **Engenharia Agrícola**, v.37, p.24-34, 2017.

SANCHEZ, V.S.E.; FIGUEIREDO, G. Planejamento da propriedade agrícola com cultivo em ambiente protegido. **Casa da agricultura**, v.14, n. 2, 2011.

SANTOS, L.L.; SEABRA JÚNIOR, S. & NUNES, M.C.M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.8, p.83-93, 2010

SANTOS, M.A.L.; SILVA, S.; ZOCOLER, J.L.; TEODORO, I.; DANTAS NETO, J.; SOUSA, J.S. Avaliação de falhas na brotação da cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica. **ACSA–Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.9, p.30-35, 2013.

SARAIVA, G.F.R.; SOUZA, G.M.; RODRIGUES, J.D. Aclimação e fisiologia de mudas de guanandi cultivadas em telas de sombreamento foto-protetoras. **Colloquium Agrariae**, v.10, p.01-10, 2014.

SAS LEARNING EDITION. Getting Started with the SAS Learning Edition, Cary, North Carolina: SAS Institute, 2002.

SCHOCK, A.A.; RAMM, A.; MARTINAZZO, E.G.; SILVA, D.M.; BACARIN, M.A.; Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-manso cultivadas em diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.3-9, 2014.

SCREMIN-DIAS, E.; KALIFE, K.; MENEGUCCI, Z.R.H.; SOUZA, P.R. **Produção de mudas de espécies florestais nativas: manual**. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 2006. 59 p.: il.; 27 cm. (Rede de sementes do Pantanal; 2).

SHIKIDA, P.F.A. Evolução e fases da agroindústria canavieira no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v.23, p.43-57, 2014.

SHIN, K.S.; MURTHY, H.N.; HEO, J.W.; HAHN, E.J.; PAEK, K.Y. The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.30, p.339-343, 2008.

SILVA, A.K.; COSTA, E.; SANTOS, É.L.; BENETT, K.S.; BENETT, C.G. Produção de mudas de mamoeiro 'Formosa' sob efeito de tela termorrefletora e substratos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.42-48, 2013

SILVA, C.R.; VASCONCELOS, C.S.; SILVA, V.J.; SOUSA, L.B.; SANCHES, M.C. Crescimento de mudas de tomateiro com diferentes telas de sombreamento. **Bioscience Journal**, v.29, p.1415-1420, 2013.

SILVA, L.F. **Alterações fisiológicas de gramíneas tropicais submetidas a diferentes níveis de irradiância**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Goiás, instituto de ciências biológicas (ICB), Goiânia, 2017. 102p.

SILVA, M.A.; CARLIN, S.D.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v.51, p.457-466, 2004.

SILVA, M.D.A.; SANTOS, C.M.D.; VITORINO, H.D.S.; LIMA RHEIN, A.F.D. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v.30, p.173-181, 2014.

SILVA, M.L.M.; ALVES, E.U.; BRUNO, R.D.L.A.; SANTOS-MOURA, S.S.; SANTOS-NETO, A.P. Germinação de sementes de *Chorisia Glaziovii o. kuntze* submetidas ao estresse hídrico em diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, v.26, p. 999-1007, 2016.

SILVA, M.M.A.; OLIVEIRA, A.L.B.; OLIVEIRA-FILHO, R.A.; CAMARA, T.; WILLADINO, L.; GOUVEIA-NETO, A. The effect of spectral light quality on in vitro culture of sugarcane. **Maringá**, v.38, p.157-161, 2016.

SILVA, M.M.A.; SANTOS, C.M.; ARANTES, M.T. & PINCELLI, R.P. (2010). Fenologia da cana-de-açúcar. In: **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M.A.; ROSSETTO, R. & SORATTO, R.P. (eds.). Botucatu, FEPAF, p8-21.

SILVA, R.A.L.; SOARES, J.D.R.; DIAS, G.D.M.G.; PASQUAL, M.; CHAGAS, E.A.; GAVILANES, M.L. Cultivo de tamarindo sob malhas coloridas: plasticidade anatômica foliar. **Ciência Rural**, v.45, p.238-244, 2015.

SILVA, V.P.R.; BORGES, C.F.R.; ALBUQUERQUE, W.G. Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, p.625-632, 2014.

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. P.; GASPAR, M.; TINÉ, M. A.; BUCKERIDGE, M. S. (2008). **Ajustando os Botões: Como as Plantas Lidam com o Aumento do CO₂ Atmosférico**. In: Buckeridge, M.S. (Org). *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. São Carlos: Rima Editora. 316p. Cap06.

SOUZA, G.S.; PINTO, J.E.B.P.; RESENDE, M.G.; BERTOLUCCI, S.K.V.; SOARES, Â.M.; CASTRO, E.M. Crescimento, teor de óleo essencial e conteúdo de cumarina de plantas jovens de gaúco (*Mikania glomerata* Sprengel) cultivadas sob malhas coloridas. **Biotemas**, v.24, p.1-11, 2011.

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

SUN, W.; UBIERNA, N.; MA, J.Y.; WALKER, B.J.; KRAMER, D.M.; COUSINS, A.B. The coordination of C4 photosynthesis and the CO₂-concentrating mechanism in *maize* and *Miscanthus × giganteus* in response to Transient changes in light quality. **Plant physiology**, v.164, p.1283-1292, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fotossíntese: As reações luminosas**. 4ed, Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.; 28 cm.

TURNER, N.C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v.58, p.339-366, 1981.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Unicadata**. 2016. Disponível em: <www.unica.com.br>. Acesso em 05 Abril 2016.

VICTÓRIO, C.P.; KUSTER, R.M.; LAGE, C.L.S. Qualidade de Luz e Produção de Pigmentos Fotossintéticos em Plantas In Vitro de *Phyllanthus tenellus* Roxb. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.213-215, 2007.

VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994, 164p.

ZHOU, Q.; ZHANG, P.; ZHANG, G. Biomass and pigments production in photosynthetic bacteria wastewater treatment: Effects of light sources. **Bioresource technology**, v.179, p.505-509, 2015.