

**ECOFISIOLOGIA DO LÚPULO 'YAKIMA GOLD' EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE CULTIVO EM REGIÃO TROPICAL, SEMIÁRIDA E DE  
BAIXA ALTITUDE**

**ROSANA MARIA DOS SANTOS NANI DE MIRANDA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
JULHO - 2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

M672 Miranda, Rosana Maria dos Santos Nani de.

ECOFISIOLOGIA DO LÚPULO 'YAKIMA GOLD' EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO EM REGIÃO TROPICAL, SEMIÁRIDA E DE BAIXA ALTITUDE / Rosana Maria dos Santos Nani de Miranda. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

95 f.

Bibliografia: 73 - 95.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2023.  
Orientador: Eliemar Campostrini.

1. cobertura do solo. 2. condução. 3. fisiologia vegetal. 4. *Humulus lupulus* L.. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

**ECOFISIOLOGIA DO LÚPULO 'YAKIMA GOLD' EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE CULTIVO EM REGIÃO TROPICAL, SEMIÁRIDA E DE  
BAIXA ALTITUDE**

**ROSANA MARIA DOS SANTOS NANI DE MIRANDA**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.”

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Eliemar Campostrini

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
JULHO – 2023

ECOFISIOLOGIA DO LÚPULO 'YAKIMA GOLD' EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE CULTIVO EM REGIÃO TROPICAL, SEMIÁRIDA E DE  
BAIXA ALTITUDE

**ROSANA MARIA DOS SANTOS NANI DE MIRANDA**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.”

Aprovada em 25 de julho de 2023

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ALESSANDRO JEFFERSON SATO  
Data: 25/11/2024 11:25:44-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

Prof. Dr. Alessandro Jefferson Sato (D.Sc. Agronomia) – UFPR

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** FABIO PINTO GOMES  
Data: 25/11/2024 20:53:32-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

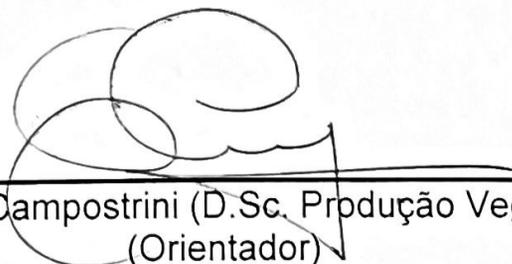
---

Prof. Dr. Fábio Pinto Gomes (D.Sc. Fisiologia Vegetal) – UESC



---

Prof. Dr. Rogério Figueiredo Daher (D.Sc. Produção Vegetal) – UENF



---

Prof. Dr. Eliemar Campostrini (D.Sc. Produção Vegetal) – UENF  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço por me acompanhar sempre, e a minha família por me apoiar em todos os momentos de lutas e conquistas.

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV) pela realização do curso de Mestrado; a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento durante meu tempo de Mestrado e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo financiamento para a realização física do projeto desta Dissertação.

Ao laboratório de Ecofisiologia de Plantas Tropicais e Subtropicais, obrigada pela oportunidade de desenvolver meu trabalho. Ao meu orientador, Professor Doutor Eliemar Campostrini, meu sincero agradecimento por me estimular a ser uma pesquisadora na área da Ecofisiologia Vegetal, e por todas as conversas e conselhos para alcançar mais conhecimento e sabedoria.

Aos amigos Waldinei e Ingrid por me apresentarem a cultura do lúpulo e aos amigos da Rede lúpulo que me impulsionaram a continuar caminhando nesta jornada de conhecer mais sobre a cultura. Aos amigos de carreira e que me acompanham nesta caminhada da dissertação pelo laboratório Ecofisiologia de Plantas Tropicais e Subtropicais e UENF, obrigada pelos momentos divertidos e de grande trabalho antes, durante e pós ao desenvolvimento da Dissertação. A Startup Entomotec por me auxiliar com produtos bioinseticidas para as plantas do experimento. Ao Professor Doutor Paulo Ricardo dos Santos na revisão dos meus trabalhos.

A banca examinadora, Professor Doutor Fábio Pinto Gomes, Professor Doutor Alessandro Jefferson Sato e Professor Doutor Rogério Figueiredo Daher, agradeço por aceitarem meu convite por participar desse momento especial na minha vida.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT .....	viii
INTRODUÇÃO .....	9
REVISÃO DE LITERATURA .....	11
a) Importância socioeconômica.....	11
b) Aspectos botânicos de <i>H. lupulus</i> L. e características morfológicas.....	14
c) Ecofisiologia do lúpulo .....	17
d) Efeitos abióticos nos metabólitos secundários principais do lúpulo .....	20
e) Radiação fotossinteticamente ativa no cultivo de <i>H. lupulus</i> L.....	22
f) Cultivo do lúpulo em diferentes regiões .....	24
g) Novas metodologias para o cultivo do lúpulo tropical .....	26
h) Cultivar ‘Yakima Gold’ .....	29
MATERIAL E MÉTODOS .....	30
a) Local e condições do experimento .....	30
b) Material vegetal e delineamento experimental .....	32
c) Avaliações .....	35
d) Análise estatística .....	44
RESULTADOS .....	45
DISCUSSÃO .....	62
CONCLUSÕES .....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73

## RESUMO

MIRANDA, Rosana Maria dos Santos Nani; Eng. Agrônoma. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Julho de 2023; Ecofisiologia do lúpulo 'Yakima Gold' em diferentes sistemas de cultivo em região tropical, semiárida e de baixa altitude; Orientador: Professor Doutor Eliemar Campostrini.

A espécie *Humulus lupulus* L. possui uma diversa adaptação climática e o cultivo a pleno sol associado a uma favorável assimilação fotossintética de carbono torna a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) um dos principais fatores abióticos para a cultura. O objetivo deste trabalho foi analisar as trocas gasosas, a emissão da fluorescência da clorofila e a propriedade espectral da cultivar 'Yakima Gold' em diferentes sistemas de cultivo com um clima tropical, semiárido e de baixa altitude. O delineamento foi em blocos casualizados com 2 sistemas de condução (vertical x horizontal) e 2 tipos de cobertura do solo (sem plástico branco x com plástico branco) em 5 blocos. Em 120 dias foram obtidos dados morfofisiológicos. No dia 80 e com sol pleno foram analisadas a RFA nos tratamentos e no dia 81 foram avaliadas no turno da manhã e ao meio-dia as trocas gasosas, emissão da fluorescência da clorofila e propriedade espectral pela reflectância em uma folha marcada totalmente expandida localizada entre 0,50 e 2 m na copa. O sistema com plástico branco no solo e na vertical (PBV) foi favorável para as análises de crescimento, na distribuição da RFA e em relação às trocas gasosas. As plantas cultivadas no sistema de plástico branco na horizontal apresentaram um maior valor de índice SPAD, na eficiência fotoquímica, na propriedade espectral foliar e na biometria final. A produtividade estimada na primeira safra obteve um melhor resultado com PBV (393,33 kg.ha<sup>-1</sup>) e o sistema sem plástico branco no solo e na horizontal foi menos eficiente (161,68 kg.ha<sup>-1</sup>). Os resultados com o plástico branco no solo corroboram com trabalhos em outras espécies e com o experimento à campo as informações encontradas foram associadas a estudos com zoneamento climático diferentemente do convencional. Portanto, com as análises ecofisiológicas obtidas é possível indicar o plantio da espécie na região estudada com o uso de coberturas plásticas brancas no solo.

Palavras-chave: cobertura do solo; condução; fisiologia vegetal; *Humulus lupulus* L.

## ABSTRACT

MIRANDA, Rosana Maria dos Santos Nani; Agronomist Engineer, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; July 2023; Ecophysiology of 'Yakima Gold' hops cultivated in different systems in tropical, semi-arid and low altitude regions; Advisor: DSc. Eliemar Campostrini.

The species *Humulus lupulus* L. has a diverse climatic adaptation and cultivation in full sun associated with favorable photosynthetic carbon assimilation makes photosynthetically active radiation (PAR) one of the main abiotic factors for the crop. The objective of this work was to analyze gas exchange, chlorophyll fluorescence emission and the spectral property of the cultivar 'Yakima Gold' in different cultivation systems with tropical, semi-arid and low-altitude climates. The design was in randomized blocks with 2 training systems (vertical x horizontal) and 2 types of soil cover (without white plastic x with white plastic) in 5 blocks. In 120 days, morphophysiological data were obtained. On day 80 and in full sun, the PAR was analyzed in the treatments and on day 81, gas exchange, chlorophyll fluorescence emission and the spectral property by reflectance were analyzed in a fully expanded marked leaf located between 0.50 and 2 m in the canopy. The system with white plastic on the ground and vertically (VWP) was favorable for analyzes of growth, PAR distribution and in relation to gas exchange. Plants grown in the horizontal white plastic system showed higher SPAD index values, photochemical efficiency, leaf spectral properties and final biometrics. The estimated productivity in the first harvest obtained a better result with PBV (393.33 kg.ha<sup>-1</sup>) and the system without white plastic on the soil and horizontally was less efficient (161.68 kg.ha<sup>-1</sup>). The results with white plastic in the soil corroborate work with other species and with the field experiment, the information found was associated with studies with different climatic zoning than the conventional one. Therefore, with the ecophysiological analyzes obtained, it is possible to indicate the planting of the species in the studied region using white plastic coverings on the soil.

Keywords: conduction; *Humulus lupulus* L.; plant physiology; soil cover

## INTRODUÇÃO

Na área alimentícia e em especial a indústria cervejeira, o lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é cultivado em regiões temperadas dos Hemisférios Norte e Sul (Korpelainen & Pietiläinen, 2021) possuindo uma elevada importância econômica (Sun et al., 2022). A lupulocultura é uma atividade agrícola que pode ser realizada em condição de campo ou em cultivo protegido (Bauerle, 2021a) e nestas condições as variáveis climáticas influenciam na fisiologia da planta, o que pode atuar significativamente no crescimento e adaptabilidade desta espécie (Donner et al., 2020; Bauerle, 2021b).

Além da importância da luminosidade no cultivo do lúpulo (Bauerle, 2021b), outros fatores abióticos também causam alterações morfofisiológicas na cultura (Gloser et al., 2013; Jupa et al., 2016; Eriksen et al., 2020; MacKinnon et al., 2020; Bauerle, 2021a; Eriksen et al., 2021). Regiões onde se tem a combinação de baixas temperaturas com um menor fotoperíodo promovem uma redução no crescimento da planta podendo chegar à dormência, impossibilitando à cultura ter mais de uma produção por ano (Bauerle, 2019; Sposito et al., 2019; Rossini et al., 2021). Contudo, regiões como o Brasil, a Nova Zelândia, a África do Sul e a Austrália possuem cultivos onde a planta tem mostrado uma adaptação e com ocorrência de mais de uma produção por ano (Driskill et al., 2022; Jastrombek et al., 2022). A ação de desenvolver cultivares adaptáveis para regiões subtropicais e tropicais por meio do melhoramento genético e estudos ecofisiológicos ampliou e diversificou a qualidade dos cones florais otimizando assim a comercialização global (Henning et al., 2021; Jastrombek et al., 2022).

A mudança no panorama histórico de cultivo da espécie está diretamente associada não só ao melhoramento genético (Henning et al., 2021; Driskill et al., 2022), mas também a mudança climática e a aplicabilidade de técnicas de manejo (Agehara, 2020; Bauerle, 2022; Leles et al., 2023) que otimizam a produtividade do lúpulo (Driskill et al., 2022; Leles et al., 2023). Em muitas regiões pelo mundo e até nas regiões de cultivos tradicionais, as ações supracitadas influenciam na rentabilidade da cultura (Jastrombek et al., 2022). Assim, para um adequado zoneamento da espécie é necessário fornecer possibilidades que beneficie um maior período da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no dossel da planta

(Jastrombek et al., 2022). Para uma melhor distribuição da RFA no cultivo do lúpulo existem técnicas de manejo que podem ser empregadas principalmente onde há pouca incidência desta RFA no dossel da planta (Rossini et al., 2021).

Algumas destas técnicas de otimização da chegada da RFA no dossel das espécies vegetais são aplicadas no solo e muitos autores relatam por exemplo a aplicabilidade de materiais sintéticos como o uso de *plastic film mulching* (cobertura de filmes plásticos – PM) (Marble et al., 2019; Shehata et al., 2019; Zhang et al., 2019; Hagner et al., 2020; Sun et al., 2020; Amare & Desta, 2021; Ivanova et al., 2021; Costa et al., 2022; Fu et al., 2022; Zhang et al., 2022; Li et al., 2023), o que pode proporcionar resultados positivos na produtividade (Adeleye et al., 2022), na eficiência do uso da água, na redução da infestação de plantas daninhas e doenças nas plantas associadas ao solo (Xu et al., 2021). Um outro método para otimizar a distribuição da RFA no dossel das plantas é o tipo de sistema de condução (Marceddu et al., 2020; Miranda et al., 2020). Para esta metodologia é comum utilizar no sentido vertical a treliça baixa e a treliça alta para o lúpulo (Marceddu et al., 2020). Os sistemas do tipo latada e espaldeira são outros dois tipos de condução (advindos da viticultura) que podem ser utilizados (Miele & Mandelli, 2015; Miranda et al., 2020). Para cada tipo de condução aplicado há vantagens e desvantagens de acordo com a finalidade da produção (Marceddu et al., 2020; Miranda et al., 2020).

Até o momento e na cultura do lúpulo não se tem estudos relacionados à planta pela ótica de três vertentes da ecofisiologia [trocas gasosas, eficiência fotoquímica (por fluorímetros modulado e não modulado) e propriedades espectrais de reflectância da folha] com a finalidade de conhecer a importância dos efeitos da otimização da intensidade da RFA na parte inferior do dossel por meio de diferentes sistemas de cultivos, e dentre estes o uso do plástico branco (PB, sendo aplicada a face branca voltada para cima) sobre o solo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a *performance* ecofisiológica por meio das trocas gasosas, emissão da fluorescência da clorofila e das propriedades espectrais da espécie *H. lupulus* L., cultivar 'Yakima Gold' com o uso de PB como cobertura do solo em sistemas verticais e horizontais formando sistemas diferentes em relação ao cultivo convencional em uma região tropical, semiárida e de baixa altitude. Assim como, verificar possíveis reflexos positivos da distribuição de RFA no dossel inferior da planta.

## REVISÃO DE LITERATURA

### a) Importância socioeconômica

O gênero *Humulus* oriundo da família Canabaceae é dividido em três espécies: *H. lupulus* L., *H. yunnanensis* Hu. e *H. japonicus* Siebold & Zucc. (Korpelainen & Pietiläinen, 2021). Com relação a estas espécies acredita-se que sejam nativas da China e foram difundidas pelo Hemisfério Norte entre América do Norte, Ásia e Europa (Rodolfi et al., 2018; Korpelainen & Pietiläinen, 2021).

O *H. yunnanensis* Hu. era considerado *a priori* como um cruzamento de cultivares de *H. lupulus* L. e *H. japonicus* Siebold & Zucc. Contudo, a espécie *H. yunnanensis* Hu destacou-se por não ter bons resultados nos cruzamentos entre estas espécies (DeNoma, 2020). Quando comparada com as demais espécies, a vantagem agrônômica da *H. yunnanensis* Hu se refere à melhor adaptação às baixas latitudes (Neve, 1991; Paguet et al., 2022). Do ponto de vista agrônômico possui uma versatilidade em programas de melhoramento genético, mas é imprópria para a produção cervejeira (Small, 1978; DeNoma, 2020).

A espécie *H. japonicus* Siebold & Zucc. é nativa da Ásia e quando comparada com a espécie *H. lupulus* L. possui inflorescências femininas muito pequenas e com poucos grânulos de lupulina (DeNoma, 2020). As inflorescências femininas infertilizadas contendo uma quantidade significativa de lupulina é o produto essencial para a indústria cervejeira (DeNoma, 2020; Paguet et al., 2022). Todavia, a espécie *H. japonicus* Siebold & Zucc. é primariamente utilizada na área ornamental (Paguet et al., 2022).

De acordo com DeNoma (2020), a espécie *H. lupulus* L. é dividida em cinco subespécies com base nas características foliares. A Tabela 1 apresenta as subespécies que foram identificadas por Small em 1978 com as localizações geográficas onde foram encontradas e mostra atualmente onde são produzidas (DeNoma, 2020; Driskill et al., 2022).

Tabela 1: Origem e maiores regiões produtoras das subespécies de *H. lupulus* L.

Identificação	Origem	Grande (s) região (ões) produtora (s)
<i>H.l</i> subsp. <i>lupulus</i>	Europa	AN / Japão
<i>H.l</i> subsp. <i>cordifolius</i>	Ásia / Japão	Ásia / Japão
<i>H.l</i> subsp. <i>neomexicano</i>	AN	Sudoeste da AN
<i>H.l</i> subsp. <i>pubescens</i>	AN	Meio oeste do EUA
<i>H.l</i> subsp. <i>lupuloides</i>	AN	Leste do EUA / Canadá

*H.l* – *Humulus lupulus* L.; AN – América do Norte

Na área medicinal as três espécies do gênero *Humulus* são utilizadas na extração de compostos químicos (Ling & Zhang, 2019; Caplin & Chen, 2020; Rossini et al., 2021; Sun et al., 2022; Wang et al., 2022). No entanto, DeNoma (2020) mencionou que todos os lúpulos comerciais de *H. lupulus* L. são direcionados às indústrias alimentícias. No setor alimentício as cervejarias industriais e artesanais são os nichos de mercado que mais utilizam as inflorescências femininas infertilizadas pois é um produto insubstituível para a bebida (Paguet et al., 2022). As glândulas presentes no cone floral secretam a lupulina, a qual é armazenada na forma de grânulos (Driskill et al., 2022). A lupulina possui um aspecto de resina com coloração amarelada e fica aderida nas brácteas e estas brácteas são conectadas a um eixo central chamado de ráqui (Figura 1) (Rossini et al., 2021).



Figura 1: Flor feminina infertilizada (cone) de *H. lupulus* L.

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2023), no mundo e na safra 2021 a área total de cultivo de lúpulo foi de 103.004 ha com um rendimento em torno de 180,3 mil t. Na mesma safra da espécie

*H. lupulus* L., o EUA foi o maior país produtor com uma área territorial em torno de 24.630 ha em produção e uma produtividade estimada em 52,45 mil t, já a Alemanha ficou em segunda posição com uma área em torno de 20.900 ha e produzindo cerca de 47,9 mil t (BarthHaas, 2023; FAO, 2023).

Além de dar estabilidade na espuma, atuar na clarificação e auxiliar na conservação da bebida, o lúpulo exerce um papel fundamental de proporcionar sabor, amargor e aroma (Marceddu et al., 2020; Raut et al., 2020; Rossini et al., 2021; Legun et al., 2022; Paguet et al., 2022). Desta forma, existem três classificações sobre a aptidão da cultura (Legun et al., 2022; Paguet et al., 2022). Os lúpulos amargos, os quais são denominados assim pelas Unidades Internacionais de Amargor (IBUs) e são calculados e padronizados com o teor de alfa-ácido ( $\alpha$ -ácido) maior que 10% (Paguet et al., 2022). Já os lúpulos aromáticos possuem uma classificação moderna com visão estética de uma cerveja com aromas peculiares e focando nos teores dos óleos essenciais (Legun et al., 2022; Paguet et al., 2022). Ainda, há os lúpulos de dupla aptidão sendo classificados pelos teores muito próximos de ácidos amargos e óleos essenciais, e os níveis entre 6% e 10% de  $\alpha$ -ácido já os classificam como uma cultivar dual (Paguet et al., 2022).

O *National Clonal Germplasm Repository* em Corvallis (Oregon, EUA) possui mais de 600 cultivares de lúpulo desenvolvidas (Driskill et al., 2022) e com o aumento das cervejarias industriais e artesanais é primordial a expansão comercial do lúpulo no Brasil e no mundo (Rossini et al., 2021; Jastrombek et al., 2022; Legun et al., 2022). Para o abastecimento das cervejarias o interesse no cultivo de lúpulo nacional é recente (Aprolúpulo, 2023). Apesar de ser o terceiro maior fabricante mundial de cerveja, o Brasil importa 99% de lúpulo processado para uma produção anual de 15,3 bilhões de litros da bebida, o que movimenta uma cadeia produtiva em torno de R\$ 160 bilhões (1,7% do Produto Interno Bruto, PIB) (Jastrombek et al., 2022). No mínimo uma cervejaria utiliza cerca de 10 g de lúpulo para a produção de 1 L da bebida (Caffrey & Ebeler, 2021). No ano de 2022 o país importou cerca de 4 mil t de lúpulo na ordem aproximada de R\$ 354 milhões e neste primeiro semestre/2023 a importação do produto gerou em torno de 985 t com gastos aproximadamente de R\$ 100 milhões (ComexStat, 2023). Esta grande importação está associada ao aumento significativo de setores da cadeia produtiva como as cervejarias artesanais brasileiras que em 5 anos (2018 à 2022) teve um avanço de 889 para 1.729 estabelecimentos registrados no país (MAPA, 2023a).

Nos dias atuais são 50 cultivares legalizadas pelo Registro Nacional de Cultivares (RNC) no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (MAPA, 2023b). A área plantada no território nacional encontra-se em torno de 50 ha e seguindo em constante expansão (Aprolúpulo, 2023).

### **b) Aspectos botânicos de *H. lupulus* L. e características morfológicas**

O lúpulo (*H. lupulus* L.) pertence à ordem Rosales, da família Cannabaceae e do gênero *Humulus*, é uma espécie considerada trepadeira, herbácea, dioica e perene (Paguet et al., 2022; Sun et al., 2022). Em regiões temperadas o cultivo agrônômico desta espécie torna-se produtivo após o terceiro ano (atingindo uma produtividade constante), pode ser cultivada até o 12º ano (Donner et al., 2020) e algumas cultivares até o 20º ano (Donner et al., 2020; Paguet et al., 2022).

A propagação pode ser feita de forma seminífera, com polinização natural ou pelo vento e esta polinização pode ser de forma artificial ou manual (melhoramento genético vegetal) (Paguet et al., 2022). Ainda, a propagação pode ser realizada de forma assexuada por meio de pedaços do rizoma e por meio da parte do entrenó com gemas opostas (estaquia) (maior uniformidade genética e estabilidade no plantio) (Rossini et al., 2021; Paguet et al., 2022). A propagação vegetativa por estaca (*ex e in-vitro*) é obtida da parte aérea da planta e proporciona uma forma mais simples e rápida de obtenção clonal de mudas (Rossini et al., 2021; Legun et al., 2022). O rizoma e as partes verdes com gemas presentes permitem uma multiplicação rápida e eficaz, porém mais trabalhosa (Rossini et al., 2021).

A possibilidade do surgimento de novas cultivares por meio do melhoramento genético é impulsionada por dois fatores: uma melhora dos teores de  $\alpha$ -ácidos (Marceddu et al., 2020; Driskill et al., 2022; Legun et al., 2022) e o desenvolvimento de cultivares as quais sejam mais resistentes às pragas, às doenças e às alterações no clima (Rossini et al., 2021). O cruzamento entre lúpulos silvestres e lúpulos cultivados (domesticados) podem apresentar características peculiares para os programas de melhoramento e de seleção de genótipos (Morcol et al., 2021). Neste caso, pode-se escolher por exemplo caracteres específicos nas folhas, principalmente os associados aos compostos fitoquímicos foliares os quais já estão presentes nos cones (Eriksen et al., 2021). Estes compostos fitoquímicos e com a finalidade de alcançar novos mercados também podem ser encontrados nas folhas de plantas masculinas e femininas (Eriksen et al., 2021; Morcol et al., 2021).

Os *H. lupulus* var. *pubescens* e var. *neomexicano* são genótipos silvestres muito utilizados no melhoramento genético pois apresentam aspectos de adaptação e produtividade para regiões secas e quentes (Marceddu et al., 2020). Estas espécies são cruzadas com genótipos nobres europeus com a finalidade de obter novas cultivares de lúpulo com qualidade no cone e que possam estender o cultivo para regiões semiáridas e de temperaturas supra ótimas (Marceddu et al., 2020; Paguet et al., 2022).

Com relação às características morfológicas, o número de brotações oscila de acordo com o tamanho da “coroa” da planta, do sistema radicular, da cultivar e do tipo de poda realizado (Rossini et al., 2021; Paguet et al., 2022). Em estações de maior fotoperíodo (maior que 15 h) e durante o estágio vegetativo, o crescimento da parte aérea pode variar de 100 a 250 mm por dia (Paguet et al., 2022; Leles et al., 2023). A fixação da planta necessita de um tutoramento justamente por ser uma espécie do tipo trepadeira (Bauerle, 2021a; Rossini et al., 2021). O crescimento em torno do suporte (tutor) é em sentido horário e a planta apresenta em média um diâmetro de copa de até 0,5 m (Bauerle, 2021a). A parte aérea da espécie pode atingir uma altura de até 10 m (Jastrombek et al., 2022; Paguet et al., 2022), e de acordo com a estrutura física do solo a profundidade das raízes pode atingir de 1 a 2,25 m e periféricamente podem alcançar de 0,6 a 1,5 m (Brant et al., 2020).

O padrão de crescimento bem como as características de folha e de cone floral são determinados de acordo com Meier (2001) pela escala *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie* (BBCH). Para um melhor manejo sazonal da espécie é de suma importância conhecer o ciclo fenológico apresentado pela escala BBCH (Dodds, 2017). Neste ciclo cada estágio é dividido em códigos decimais (Meier, 2001). Essa escala é utilizada em áreas do setor agrícola, por exemplo na fisiologia, na fitotecnia, na fitopatologia, na entomologia, no melhoramento de plantas e no agronegócio associado à aplicação de defensivos agrícolas, fertilizantes e até no pagamento do seguro agrícola (Dodds, 2017). A escala alemã BBCH da espécie *H. lupulus* L. é dividida em dois períodos de crescimento das plantas, sendo que o primeiro dígito da escala se refere ao estágio principal de crescimento e o segundo dígito representa o estágio de crescimento secundário (subestágio), o qual corresponde a um número ordinal ou valor percentual (Meier, 2001). Dodds (2017) apresentou a escala BBCH do *H. lupulus* L.

de forma mais detalhada. No entanto, a Figura 2 menciona resumidamente a escala para conhecimento prévio das fases fenológicas da cultura.

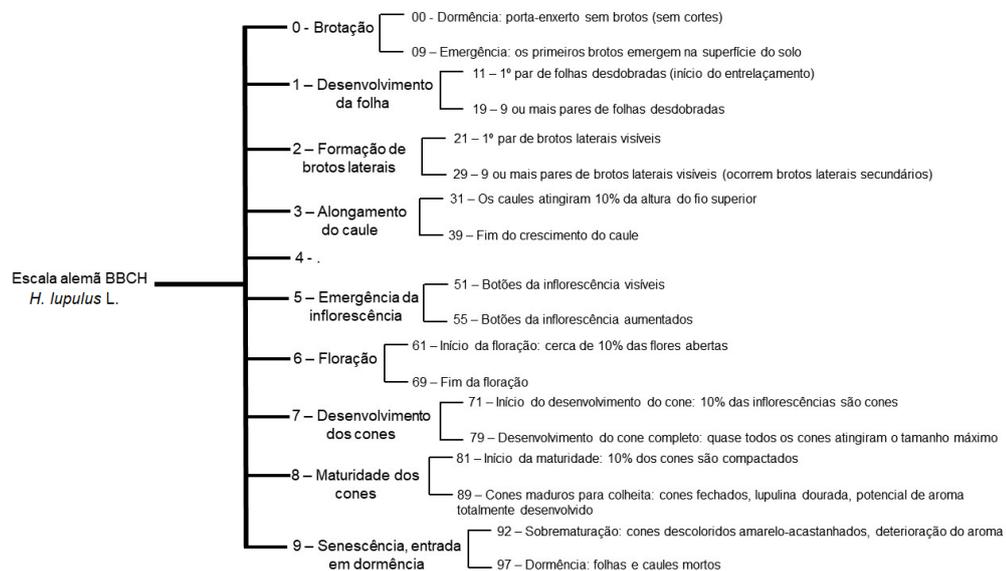


Figura 2: Escala alemã BBCH da espécie *H. lupulus* L. dividida em estágio (um dígito - 0) e subestágio (dois dígitos - 00).

A inflorescência feminina infertilizada (cone, 70-79 BBCH) possui brácteas e bracteólas as quais são estruturas que se assemelham com pétalas e circundam a ráqui (Sun et al., 2022). O cone de lúpulo é utilizado na fabricação da cerveja uma vez que neste órgão da planta feminina encontra-se os grânulos de lupulina (Driskill et al., 2022; Paguet et al., 2022). A lupulina é secretada por glândulas e apresentam-se como grânulos amarelos (Rossini et al., 2021; Chiancone et al., 2023). Estes grânulos estão aderidos precisamente nas brácteas dos cones, folhas e caules, contudo, majoritariamente estão presentes nos cones (Raut et al., 2020; Chiancone et al., 2023). Os cones por apresentarem a lupulina em altas concentrações são utilizados nas cervejarias industriais e artesanais em razão da lupulina ser o ingrediente chave do sabor, amargor e aroma da bebida (Rossini et al., 2021; Paguet et al., 2022). Desta forma, o cone infertilizado da planta feminina desta espécie tornou-se o produto de maior relevância às cervejarias (Raut et al., 2020; Sun et al., 2022).

Na maioria das cultivares existentes e dependendo das condições de coleta e manuseio das amostras os  $\alpha$ -ácidos podem variar de 2 a 17% com base nas amostras secas (Paguet et al., 2022). Na composição química dos cones, os fatores ambientais e a própria cultivar podem alterar também a concentração dos beta-

ácidos ( $\beta$ -ácidos) (MacKinnon et al., 2020; Eriksen et al., 2021). Assim, a porcentagem dos metabólitos secundários ( $\alpha$ -ácidos,  $\beta$ -ácidos e óleos essenciais) nos cones oscilam de acordo com o zoneamento agrônômico do lúpulo, o qual possui uma ampla faixa de adaptabilidade (Jastrombek et al., 2022) e mesmo o cultivo sendo originário do Hemisfério Norte (regiões da Europa e Ásia) (Rossini et al., 2021; Paguet et al., 2022). Neste Hemisfério a colheita de lúpulo ocorre durante o mês de agosto e já no Hemisfério Sul a maioria das colheitas acontecem durante o mês de fevereiro (Paguet et al., 2022).

De acordo com o tipo de cultivo onde a planta será manejada, seja na condição de campo (pleno sol) ou em cultivo protegido, existem cultivares que se adaptam de acordo com cada tipo de implantação do sistema de produção (Bauerle, 2021a; Henning et al., 2021; Jastrombek et al., 2022). Portanto, selecionar cultivares com características anãs, por exemplo as quais podem alcançar até 3 a 4 m de altura pode facilitar as práticas agrônômicas e ao mesmo tempo otimizar a produtividade e a qualidade de cones produzidos (Bauerle, 2021a; Marceddu et al., 2022). O encurtamento do entrenó também é uma forma de promover plantios de treliça baixa e que tenha uma produção significativa (Silva & Faria Junior, 2011; Bauerle, 2021a; Bauerle, 2022). Desta maneira, as práticas mecânicas e até a utilização de hormônios sintéticos aplicados durante o período de transição da fase juvenil para a fase adulta do lúpulo podem desencadear modificações morfológicas e assim aumentar a capacidade de produção em uma menor altura de planta, podendo otimizar os tratos culturais e o processo de colheita (Bauerle, 2021a; Bauerle, 2022; Marceddu et al., 2022).

### **c) Ecofisiologia do lúpulo**

Durante o período de crescimento e desenvolvimento do lúpulo os fatores abióticos exclusivos ou quando combinados interferem na fisiologia da planta (Kenny, 2005; Mozny et al., 2009; Donner et al., 2020; Eriksen et al., 2020; Bauerle, 2021b; Eriksen et al., 2021). As constantes oscilações extremas destes fatores tornam particularmente o lúpulo uma espécie vulnerável às mudanças no clima (Fandiño et al., 2015; Marceddu et al., 2022). Com as mudanças climáticas em diferentes regiões do globo terrestre (IPCC, 2023) alguns autores relataram estudos sobre os efeitos dos fatores do ambiente sobre a ecofisiologia do lúpulo em condições de flutuações extremas dos fatores abióticos (Gloser et al., 2013; Eriksen

et al., 2020; MacKinnon et al., 2020; Bauerle, 2021b; Eriksen et al., 2021; Jastrombek et al., 2022). No ciclo da planta a transpiração ( $E$ ) é mais elevada na fase de florescimento e menor na maturação do cone (Hniličková et al., 2008). A taxa fotossintética líquida ( $A$ ) é crescente no estágio de brotação até a formação dos cones florais (Pokorný et al., 2011). Portanto, o máximo da atividade fotossintética é verificada da fase vegetativa para a reprodutiva e o declínio desta atividade ocorre no período de senescência da planta (Pokorný et al., 2011; Hejnák et al., 2014).

Vários componentes da maquinaria fotossintética das plantas são prejudicados quando as folhas desta espécie são expostas a temperaturas supra ótimas (Allakhverdiev et al., 2008; Marceddu et al., 2022). Na condição de temperatura supra ótima pode ocorrer a dissociação do manganês no complexo de evolução do  $O_2$ , e assim comprometer a distribuição de energia do fóton absorvido nos fotossistemas I e II (PSI e PSII, respectivamente) (Taiz et al., 2017). A interrupção da cadeia transportadora de elétrons (CTE) por meio da desestruturação da ancoragem dos fotossistemas nos tilacoides causados pela elevação da fluidez da membrana celular (Marceddu et al., 2022) bem como o comprometimento na assimilação de carbono devido a diminuição da atividade/concentração da enzima ribulose 1,5-bifosfato carboxilase oxigenase (RuBisCO) ativase são outros componentes afetados sob condição de estresse térmico supra ótimo (Sharkey, 2005; Marceddu et al., 2022).

Na condição de uma adequada disponibilidade de água para a planta, Kondic et al. (2021) relataram que a taxa fotossintética máxima ( $A_{\text{máx}}$ ) alcançada por plantas de lúpulo está relacionada a faixa de temperatura entre 21 e 39 °C. Embora, hajam cultivares de lúpulo que conseguem ainda permanecer em crescimento com uma significativa assimilação de  $CO_2$  e da atividade da RuBisCO em temperaturas supra ótimas (Eriksen et al., 2020; Marceddu et al., 2022). Neste caso, as cultivares podem ser consideradas como tolerantes e podem ser indicadas para o cultivo em regiões de clima mais quente (tropical e subtropical) (Eriksen et al., 2020). Na condição de estresse térmico supra ótimo e hídrico outras variáveis fisiológicas também são afetadas negativamente, como exemplo reduções significativas na taxa de transferência de elétrons (ETR), na dissipação fotoquímica (qP) e no rendimento quântico aparente ( $\Phi CO_2$ ) (Eriksen et al., 2021). No horário de meio-dia em que se tem elevada intensidade da radiação solar e temperatura do ar, mesmo com boa disponibilidade hídrica do solo, o lúpulo apresenta uma diminuição do potencial

hídrico foliar ( $\psi_w$ ) (Gloser et al., 2013). Em condições de pleno sol quando as folhas de lúpulo são expostas a uma elevada intensidade da radiação solar e esta está associada a uma limitação hídrica do solo, a redução de  $\psi_w$  é ainda mais acentuada e é possível observar também um declínio de  $E$  antes mesmo de qualquer alteração no  $\psi_w$ , o que pode caracterizar esta espécie como isohídrica (Gloser et al., 2013). O potencial osmótico ( $\psi_o$ ) também é comprometido (valores mais negativos) quando estes fatores abióticos são combinados e ainda associados ao aumento da salinidade no solo (Marceddu et al., 2022).

Sobre o  $\psi_o$ , quando a cultura está exposta às condições de estresse salino no solo e agindo concomitantemente com uma temperatura supra ótima e evento de seca (Marceddu et al., 2022), as espécies reativas de oxigênio (ROS), o ácido abscísico (ABA) e a via excessivamente sensível ao sal (SOS) bem como moléculas sinalizadoras secundárias, são formados contribuindo para a regulação e a manutenção da homeostase iônica nas células (Julkowska & Testerink, 2015). Ainda, na condição de estresse salino há alterações no potencial hidrogeniônico (pH) e na concentração de sulfato na seiva do xilema juntamente com o ABA (Marceddu et al., 2022). Estes mecanismos sinalizam o efeito do estresse de longa distância no lúpulo (Kolenc et al., 2016; Marceddu et al., 2022). Potopová et al. (2020) também mostraram os efeitos negativos sobre a fisiologia da espécie como uma elevada temperatura e respiração celular nas folhas, um maior fechamento estomático e uma redução na assimilação de  $\text{CO}_2$  quando os estresses salino e hídrico são combinados.

Sob condição de limitação hídrica severa no solo as trocas gasosas avaliadas em folhas de lúpulo mostraram significativas reduções na condutância estomática ( $g_s$ ),  $E$ ,  $A$ , assim como uma redução na pressão parcial de  $\text{CO}_2$  nos espaços intercelulares ( $C_i$ ) (Eriksen et al., 2021). Estes comprometimentos afetaram negativamente a atividade do PSII e elevou a eficiência do uso da água ( $EUA$ ) (Kolenc et al., 2016). A redução de  $E$  e do  $\psi_w$  está relacionada diretamente com o estresse hídrico por meio dos processos que regulam a abertura estomática (Gloser et al., 2013; Marceddu et al., 2022). Portanto, a limitação de água tanto do solo como do ar podem exercer efeitos negativos intensos sobre os estômatos foliares nas plantas de lúpulo (Eriksen et al., 2021).

Com relação ao efeito do fator  $\text{CO}_2$  atmosférico sobre a fisiologia do lúpulo, esta espécie apresenta metabolismo do tipo  $\text{C}_3$  (Sage & Zhu, 2011; Bauerle, 2021b)

e as plantas com este metabolismo quando cultivadas em alta  $[CO_2]$  no ar e com disponibilidade adequada de água e nutrientes minerais podem ter alta produtividade (Toreti et al., 2020). Embora a fertilização carbônica possa resultar em redução de  $g_s$  (Engineer et al., 2016), em algumas espécies observa-se uma manutenção ou mesmo um aumento nos valores de  $A$  (Thompson et al., 2017). Em espécies vegetais a fertilização carbônica é comumente utilizada para fins de maior ganho fotossintético (Terrer et al., 2019), Bauerle (2021b) relatou que no lúpulo em um curto espaço de tempo a resposta com fertilização carbônica de 415 a 500 ppm pode ser considerada promissora e a fertilização com 600 e 700 ppm a longo prazo promovem maior ganho de carbono. Nesta condição, o autor mencionou que tanto em folhas sombreadas quanto nas expostas pela luz natural o aumento da  $[CO_2]$  no ambiente ao redor da planta pode causar elevação em  $A$  e no rendimento quântico efetivo do PSII ( $\Phi_{II}$ ).

A idade e a posição da folha no dossel da planta associadas a interceptação da RFA influenciam nas trocas gasosas das folhas do lúpulo (Bauerle, 2021b). O início da fase de floração (61-69 BBCH) (Meier, 2001) ocorre quando há otimização de  $A$  sendo fundamental na cultura do lúpulo pois quando as folhas estão totalmente expandidas os valores desta variável é mais elevada, assim como os valores das variáveis  $E$  e  $g_s$  (Hejnák et al., 2014). Durante o ciclo da cultura a variável  $A$  apresenta uma resposta parabólica iniciando com um aumento desta na fase vegetativa e atinge um valor máximo na fase reprodutiva (Larcher, 2003). Na fase reprodutiva os valores permanecem máximos e constantes e diminuem quando se inicia a fase de senescência da planta (92 e 97 BBCH) (Meier, 2001; Hejnák et al., 2014).

#### **d) Efeitos abióticos nos metabólitos secundários principais do lúpulo**

A lupulina contém propriedades organolépticas que dividem-se em concentrações de resinas amargas (dura e mole), óleos essenciais e polifenóis (Driskill et al., 2022). Estes três grupos (resinas, óleos e polifenóis) compõem parte dos metabólitos secundários de um cone floral de lúpulo (Korpelainen & Pietiläinen, 2021).

Dentre as resinas duras, por exemplo o xantohumol é conhecido como uma chalcona prenilada (Bertelli et al., 2018; Paguet et al., 2022) ou um prenilflavonoide (Marques et al., 2022) e é um composto químico que possui ação anti-inflamatória e

antioxidante (Caplin & Chen, 2020; Marques et al., 2022). As resinas moles são amplamente conhecidas como os ácidos amargos onde os principais componentes são os  $\alpha$ - e  $\beta$ -ácidos (humulonas e lupulonas, respectivamente) (Bertelli et al., 2018), os quais são imprescindíveis na produção cervejeira por oferecerem ações conservantes, além da característica primordial de amargor (Paguet et al., 2022). Estes ácidos amargos, chamados também de terpenofenólicos (Mafakheri et al., 2020), derivam de precursores de piruvato os quais são formados no cloroplasto pela via da biossíntese de BCAA (biossíntese de aminoácidos de cadeia ramificada) como a leucina, a isoleucina e a valina (Eriksen et al., 2021). Os óleos essenciais ou denominados de terpenos (Mafakheri et al., 2020), além de serem destinados às áreas biológica e farmacológica são também utilizados no setor cervejeiro (Kondic et al., 2021). Ao ser adicionado na cerveja os aromas e os sabores são marcantes devido a presença das propriedades químicas como o mirceno, o geraniol e o linalol, sendo muito presentes em lúpulos americanos e europeus (Korpelainen & Pietiläinen, 2021). Já os polifenóis (ácidos carboxílicos e flavonoides não prenilados) conferem sabores adicionais à bebida (Eriksen et al., 2021).

Estas propriedades químicas do metabolismo secundário (MS) do lúpulo ajudam na clarificação da cerveja (Marceddu et al., 2020), na estabilidade da espuma e na qualidade da bebida (Marceddu et al., 2020; Paguet et al., 2022). A temperatura supra ótima no dossel da planta também pode prejudicar os processos fotossintéticos do MS nos cones (Mozny et al., 2009; Donner et al., 2020; Eriksen et al., 2021). As temperaturas elevadas e o estresse hídrico quando combinados alteram de forma negativa o MS reduzindo o acúmulo de concentração de ácidos amargos antes e durante a floração, principalmente durante o estágio do enchimento dos cones (período de maior acúmulo de  $\alpha$ - e  $\beta$ -ácidos) (Fandiño et al., 2015; Nakawuka et al., 2017), prejudicando o rendimento e primordialmente a qualidade das flores (Nakawuka et al., 2017). De acordo com as condições da umidade relativa do ar ( $UR_{ar}$ ), na região de cultivo este fator abiótico pode interferir na concentração de  $\beta$ -ácidos e dos óleos essenciais (MacKinnon et al., 2020) bem como na quantidade e qualidade de  $\alpha$ -ácidos durante o desenvolvimento dos cones florais (Eriksen et al., 2021).

### **e) Radiação fotossinteticamente ativa no cultivo de *H. lupulus* L.**

Os componentes da radiação solar global, sendo a radiação difusa e a radiação de feixe são determinantes para contribuir em estudos da ecofisiologia vegetal (Marques Filho et al., 2016) e a fração da radiação solar difusa torna-se mais relevante nas folhas das plantas localizadas dentro do dossel (Mirzabe et al., 2021). A qualidade da luz é um fator determinante na fisiologia do crescimento das plantas (Zhang & Runkle, 2019; Jähne et al., 2020). Nestas, moléculas orgânicas chamadas de cromóforos estão presentes em alguns fotorreceptores, estes cromóforos destinam-se a absorção de fótons e determinam qual o comprimento de onda da luz será captada (Wong et al., 2020). A radiação solar emite radiações UV [UV-A (315-400 nm) e o UV-B (280-315 nm)] as quais são capazes de interferir no processo fotossintético e de crescimento das plantas (Badmus et al., 2022). Desta forma, existe uma linha tênue nos processos fisiológicos das espécies vegetais quando expostas ao UV desde efeitos fotoprotetores a fotoinibitórios (Apoorva et al., 2021). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA, 400-700 nm) e a radiação no espectro do infravermelho próximo (NIR, 700-2500 nm) atuam como componentes de modelos de sistemas terrestres e estes espectros possuem a finalidade de transferir as energias para o dossel das plantas (Braghiere et al., 2021).

Em plantas de dias curtos os fotorreceptores com papéis de absorver a luz vermelha e a luz vermelha distante são os fitocromos (Zhang & Runkle, 2019). A luz vermelha distante (700-800 nm) promove o alongamento de pecíolos destas plantas (Jähne et al., 2020), desencadeia uma redução do teor de clorofila seja pela inibição da síntese de clorofila ou pela diluição dos cloroplastos com a rápida expansão foliar e promove uma baixa eficiência quântica na fotossíntese (Wong et al., 2020). Entretanto, pode estimular a atividade fotossintética no PSII (Wong et al., 2020) e modular a atividade do fitocromo com a finalidade de regular a floração (Jähne et al., 2020). A luz vermelha (600-700 nm) é a mais adequada para uma boa assimilação fotossintética promovendo um maior rendimento quântico, acumulação de fotoassimilados (carboidratos) nas plantas (Craig & Runkle, 2013; Wong et al., 2020), incrementos de clorofila, desenvolvimento foliar e abertura estomática (Lee et al., 2016; Azad et al., 2020).

Outros componentes do espectro do visível são importantes para as espécies vegetais. A luz azul (450-490 nm) é absorvida principalmente pelos criptocromos e fototropinas, mas alguns fitocromos também podem ser estimulados

à absorção (Wong et al., 2020; Zhang et al., 2020). Ainda, pode ser utilizada nas plantas com a finalidade de aumentar a assimilação fotossintética (Jähne et al., 2020) e abertura estomática (Zhang et al., 2020). Para Wong et al. (2020), a luz azul é considerada um espectro menos eficiente para a realização da fotossíntese em razão de ser captada por pigmentos não fotossintéticos como as antocianinas e pigmentos fotossintéticos acessórios, os quais promovem a perda significativa dessa fonte luminosa para o direcionamento direto da fotossíntese. Contudo, possui a função de acumular mais carotenoides nas folhas pois a relação carotenoide/clorofila quando elevada indica o efeito da ação dos carotenoides na fotoproteção (Zhang et al., 2020). Diretamente são influenciados quando se utiliza a luz azul, o *quenching* não fotoquímico (NPQ), o rendimento quântico máximo ( $F_v/F_m$ ), a cadeia transportadora de elétrons (CTE), a taxa da clorofila especial P700 (Hamdani et al., 2019) e a movimentação dos cloroplastos dentro das células vegetais (Wada, 2013; Huché-Thélier et al., 2016).

Em contrapartida com os espectros vermelho e azul, a luz verde (490 – 580 nm) é absorvida pelo dinucleotídeo flavina adenina (FAD-) que é um cromóforo do criptocromo com forma biologicamente ativa (Kao et al., 2008; Landi et al., 2020). Assim, a luz verde é captada nas regiões mais profundas das folhas e na copa interferindo na taxa fotossintética das plantas (Zhang et al., 2020), no teor de clorofila, na atividade da RuBisCO, na condutância estomática e parâmetros relacionados ao PSII (ETR e  $F_v/F_m$ ) (Landi et al., 2020). O aumento na fotossíntese só é significativo quando a luz verde é utilizada para complementar os espectros vermelho e azul principalmente para plantas que estejam em estágio vegetativo inicial (Mickens et al., 2018; Samuolienė et al., 2020), com copa espessa e para ambientes fechados (cultivos *indoors*) em virtude do melhor manejo para os olhos humanos (Wong et al., 2020). A luz amarela (580 – 600 nm) quando relacionada aos demais espectros é pouco absorvida pelos pigmentos fotossintéticos e há uma carência de pesquisas sobre seu efeito na fotossíntese das espécies vegetais (Wong et al., 2020).

A intensidade luminosa (IL) torna-se outro elemento na tomada de decisão para a utilização de diferentes manejos na agricultura pois para plantas de dias curtos uma intensidade de aproximadamente  $500 \mu\text{mol.m}^{-2}$  à uma distância de 50 centímetros da fonte luminosa em relação a parte apical da planta é suficiente para a completa uniformidade de crescimento durante o ciclo vegetativo da planta, já uma

intensidade luminosa de  $1.000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$  (IL supra ótima) pode acelerar a fase fenológica da cultura possibilitando plantas de menor porte (Jähne et al., 2020).

O período de incidência direta da radiação solar em razão ao fotoperíodo crítico em que as plantas de lúpulo precisam ficar expostas são determinantes para a produtividade pois pela redução do fotoperíodo crítico ocorre o estímulo à floração (Rossini et al., 2021). Como o lúpulo é uma planta de dia curto, para um adequado estágio vegetativo esta espécie necessita de uma duração crítica de 15 a 16 h de fotoperíodo (Agehara, 2020; Leles et al., 2023) e quando este fotoperíodo é reduzido inicia-se a fase de floração (Leles et al., 2023). Uma vez que a energia química é produzida nas folhas por meio da conversão de energia luminosa em carboidratos (fotossíntese), a exposição direta e em intensidade adequada da RFA na parte aérea da planta é um fator essencial para a produção do lúpulo (Rossini et al., 2021). Deste modo, quando comparadas às folhas no interior do dossel (folhas sombreadas) com as folhas desta espécie expostas diretamente à RFA podem ter maior valor de *A* (Kenny, 2005; Bauerle, 2021b) e as folhas na mesma idade podem ter diferenças significativas em *A* caso a iluminação atinja as folhas localizadas em posições diferentes da planta (MacKinnon et al., 2020; Bauerle, 2021b).

As folhas expostas à luz de forma direta têm valores médios de *A* em torno de  $16,6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , *g<sub>s</sub>* em torno de  $0,32 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e a interação entre as duas variáveis pode influenciar mais de 50% na produtividade (Kenny, 2005). Assim na fase vegetativa a RFA é primordial para o lúpulo, além de proporcionar uma síntese diversificada de compostos químicos presentes nos cones, folhas e caules (Rossini et al., 2021). Portanto, a busca por alternativas como sistemas de cultivo diferenciados por meio de tecnologias associadas à fitotecnia e aplicável nas regiões produtoras (Agehara, 2020) ou por meio do melhoramento genético (Awasthi et al., 2021; Henning et al., 2021) é de grande importância para elevar a produtividade dos cultivos comerciais desta espécie.

#### **f) Cultivo do lúpulo em diferentes regiões**

Em cada região que o lúpulo é cultivado há um definido um *terroir*, ou seja, os fatores bióticos e abióticos de uma determinada área de plantio atuam nas propriedades organolépticas dos cones florais desta espécie (Morcol et al., 2020). Assim, há cultivares de lúpulo americano, europeu, britânico, alemão etc., nos quais apresentam um *terroir* diferenciado um do outro (De Simone et al., 2021). Um

exemplo é a cultivar 'Cascade' produzida em Hallertau (Alemanha) que apresentou maior quantidade de polifenóis e ésteres, e baixos teores de terpenos quando comparada ao 'Cascade' produzido no Vale do Yakima (EUA) (Foster et al., 2014; De Simone et al., 2021).

As principais áreas produtoras de lúpulo na Europa são Hallertau (Alemanha), Ústecko, Zatecko e Trsická (República Tcheca), Kent (Inglaterra), Lublin (Polônia), Koroska (Eslovênia), Alsácia (França), Leão e Galiza (Espanha) (Potová et al., 2020). A República Tcheca, país milenar na lupulucultura possui uma altitude nas áreas produtoras que varia de 160 a 500 m entre montanhas e com clima estabelecido como moderado e úmido (Mozny et al., 2009). O Norte da França também é um território com histórico de produção e apresenta atualmente as áreas de cultivo em planícies (Paguet et al., 2023). A Itália mesmo não sendo um país de grande produção mundial possui áreas de cultivo nos últimos anos que se encontram em regiões semiáridas (Marceddu et al., 2020) e algumas cultivares, por exemplo a 'Cascade' é produzida em Sardenha (região semiárida e de baixa altitude com 25 a 135 m em relação ao nível do mar). Nesta região da Itália a cultivar se destacou pelo desempenho aromático similar ao 'Cascade' americano (Forteschi et al., 2019).

No Noroeste do Pacífico do EUA fica localizado os três principais estados produtores de lúpulo que são Washington, Idaho e Oregon (Mackinnon & Pavlovic, 2023), e uma das regiões mais significativas no estado de Washington é o Vale do Yakima (Eriksen et al., 2021; Haunreiter et al., 2021). O Vale representa mais de 79% da produção nacional e de 2010 a 2019 a produção de lúpulo nesta região aumentou em 68% (Haunreiter et al., 2021), mas apresenta um cenário frente as mudanças climáticas com regiões áridas e semiáridas (Nakawuka et al., 2017; Henning et al., 2021). Ao longo dos anos a localidade apresentou uma escassez na disponibilidade de regimes pluviométricos promovendo uma redução do rendimento produtivo da cultura (Nakawuka et al., 2017).

No Brasil, o cultivo do lúpulo recentemente apresenta-se como promissor para as regiões subtropicais (Jastrombek et al., 2022; Leles et al., 2023; Neves et al., 2023), com cultivos orgânicos e convencionais (Neves et al., 2023) e com ensaios de cultivares, dentre estas a cultivar 'Yakima Gold' (Leles et al., 2023). Para o estado do Rio de Janeiro, as regiões Norte e Noroeste apresentam índices de suscetibilidade à aridez (valores que oscilam de 0,05 a 0,65) entre 0,21 e 0,50, isto

é, áreas vulneráveis à seca em razão da ocorrência de baixa pluviosidade e elevada evapotranspiração (Bohn et al., 2020). Com os dados da normal climatológica de 1991 a 2020 a insolação total em Campos dos Goytacazes/RJ chegou a  $\approx 2.078$  h bem distribuída ao ano (mínima de 128,5 h em setembro e máxima de 207,2 h em fevereiro) e as médias de temperatura, de precipitação pluviométrica e da umidade relativa do ar anual ficou em torno de 24,6°C, 981,6 mm e 85,1%, respectivamente (INMET, 2023).

A mesorregião Norte Fluminense encontra-se na latitude 21°74' S, a 11,2 m de altitude (INMET, 2023), é o maior município no interior do estado em população (cerca de 500 mil habitantes) e 63,4% de toda extensão territorial (4.032 km<sup>2</sup>) é destinada ao setor agropecuário (Barbosa et al., 2020). Com um relevo plano (La Pasta Cordeiro et al., 2021) e pela classificação de Köppen-Geiger a cidade apresenta um clima tipo Aw (Sales et al., 2022) sendo classificada assim como região de clima tropical semiárido (Bohn et al., 2020; La Pasta Cordeiro et al., 2021). Embora ainda sem a presença de cultivo de lúpulo, mas com um grande potencial produtivo. Sendo assim, em certas épocas do ano a região supracitada pode ser considerada adequada para o cultivo da espécie. Para uma adequada produção torna-se de extrema importância realizar estudos ecofisiológicos para que se possa comprovar esta informação. Desta maneira, este presente trabalho é de fundamental importância para as ações futuras do agronegócio associado à produção de lúpulo na região do Norte/Noroeste do estado do RJ.

#### **g) Novas metodologias para o cultivo do lúpulo tropical**

Para desmitificar o cultivo do lúpulo em territórios tropicais e subtropicais (Jastrombek et al., 2022) são necessários novos pacotes tecnológicos os quais visam antes mesmo de elevar a produtividade (Agehara, 2020; Bauerle, 2021a; Bauerle, 2021b), viabilizar a adaptabilidade de uma espécie perene a qual possa desencadear novas áreas produtivas com propriedades organolépticas distintas (Jastrombek et al., 2022). Uma das possibilidades tecnológicas a ser adotada para uma inovação fitotécnica para melhorar a distribuição de IL, especialmente nas folhas da parte mais baixa no dossel das plantas em que há IL baixa é a utilização de materiais sintéticos refletivos, como exemplo o uso de *plastic film mulching* (PM) sobre o solo (Zhang et al., 2019; Amare & Desta, 2021; Xu et al., 2021; Adeleye et al., 2022; Zhang et al., 2022; Li et al., 2023). Aproximadamente 4% de todo plástico

produzido mundialmente é encontrado nas produções agrícolas com diversos fins, como elevar a *EUA* e aumentar a eficiência de nutrientes minerais, bem como otimizar a assimilação de  $\text{CO}_2$  por meio do aumento da distribuição da RFA nas partes mais inferiores do dossel (Amare & Desta, 2021). Estas ações podem elevar a produtividade (Ivanova et al., 2021; Costa et al., 2022) e ainda proteger as propriedades químicas e físicas do solo (Xu et al., 2021).

As primeiras literaturas a mencionar o uso de PM na agricultura foi em 1970 descrevendo sobre a suplementação da RFA por meio da refletividade do material, aumentando a intensidade da radiação deste espectro e otimizando a absorção desta RFA dentro do dossel das plantas (Iglesias & Alegre, 2009). Assim, o PM pode ter diversas colorações de acordo com a finalidade do estudo (Ivanova et al., 2021; Liu et al., 2021a; Costa et al., 2022; Fu et al., 2022). A escolha da coloração do PM determina o equilíbrio espectral, qualidade e intensidade da radiação solar absorvida e refletida (Li et al., 2023), conseqüentemente, afetam o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento das plantas (Amare & Desta, 2021; Li et al., 2023). As cores preta, branca, verde, marrom, vermelho, prata e azul são as mais utilizadas na agricultura pois são fundamentadas por respostas fisiológicas das plantas e pela absorção da radiação solar pelo material (Amare & Desta, 2021). Ao utilizar uma coloração de PM toda a área em torno da planta é modificada em termos da intensidade e qualidade da radiação, assim, a diferença entre a relação vermelho e vermelho distante (regulação do fitocromo) devido a coloração do PM pode alterar o crescimento e desenvolvimento das plantas (Costa et al., 2022).

O PM de cor preta possui menor transmitância e absorve uma grande quantidade de radiação solar (Li et al., 2023), com eficiência nas radiações que abrangem o UV, os espectros do visível e o infravermelho, e aumentando a temperatura do solo (Amare & Desta, 2021; Chia et al., 2022). Em contrapartida, o PM branco propicia o resfriamento do solo, absorvendo menos energia destas radiações e é mais utilizado quando se deseja maior reflectância da radiação solar (Amare & Desta, 2021). Ao ter um incremento da reflexão da RFA por materiais mais claros, por conseqüência mais refletivos, obtém-se respostas promissoras das plantas sobre a eficiência do aparelho fotossintético, a ultraestrutura do cloroplasto, o comprimento do entrenó e o alongamento do caule (Decoteau, 2008; Costa et al., 2022) bem como a otimização da assimilação de  $\text{CO}_2$  e a elevação do teor de clorofila os quais são significativamente maiores quando comparados com plantas

sem cobertura (Helaly et al., 2017; Costa et al., 2022). Devido a importância da amenização nos impactos ambientais o uso de PM biodegradável vem se destacando em diferentes sistemas de cultivo por ser uma técnica inovadora e sustentável para diversas espécies agrícolas (Abbate et al., 2023). O PM biodegradável pode ser associado as coberturas vegetais mortas por terem o mesmo desempenho pois não comprometem a qualidade do solo e são benéficas para as agriculturas orgânica e sustentável, podendo ter três componentes distintos como matéria-prima: amido e celulose, ácido polilático (PLA) e polihidroxialcanoatos (PHA) (Miles et al., 2017).

Técnicas de condução as quais também são utilizadas fortemente na viticultura também podem ser empregadas na lupulucultura para o aumento da RFA (Miele & Mandelli, 2015; Miranda et al., 2020). O manejo de condução do tipo latada é uma técnica vantajosa para áreas montanhosas pois proporciona fácil acesso (Miele & Mandelli, 2015), mas possui elevados custos de implantação e manutenção do sistema de condução (Miranda et al., 2020). Neste tipo de manejo o ramo principal da planta fica na posição horizontal e precisa ser ajustado diariamente pois o lúpulo não possui gavinhas (Bauerle, 2021a) e sim pelos de aderência localizados nas folhas e ramos (Rossini et al., 2021). A condução do tipo espaldeira é um manejo semelhante à treliça baixa a qual é muito indicada para escalas menores de produção (Bauerle, 2021a; Rossini et al., 2021) para o uso de cultivares anãs (plantas de portes menores alcançando até 4 m de altura) (Paguet et al., 2022). Diferentemente da treliça alta que é um modelo mundialmente empregado e que se destina às cultivares com alturas de 4 até 8 m (Bauerle, 2021b).

As informações sobre a treliça baixa são relatadas também por Marceddu et al. (2020) mostrando que esta condução pode beneficiar o cultivo do lúpulo para regiões de clima semiárido, com maior segurança da mão de obra na colheita e menor custo de manutenção da condução. No entanto, caso as cultivares não sejam anãs pode causar uma redução no rendimento em 40% (Paguet et al., 2022). Os dois tipos de treliças (alta e baixa) são sistemas de condução que podem ser utilizadas na condução do dossel em posição vertical (Bauerle, 2021a). A grande vantagem em conduzir o lúpulo nesta direção é proporcionar a aeração do dossel, melhorar a entrada da RFA, além de ser mais sustentável e o custo de implantação ser menor que a técnica de condução do tipo latada (Miele & Mandelli, 2015; Paguet et al., 2022).

#### **h) Cultivar ‘Yakima Gold’**

Em uma determinada região, para um adequado crescimento e desenvolvimento da cultura, a seleção genética de cultivares tolerantes/resistentes a diferentes condições geoclimáticas (Comi, 2020; Henning et al., 2021), doenças, pragas e *performances* de alto rendimento são de extrema importância (Henning et al., 2021). A cultivar ‘Yakima Gold’ faz parte da coleção básica de lúpulo no *Clean Plant Center Northwest* (CPCNW) do Centro de Pesquisa e Extensão de Agricultura Irrigada na Universidade Estadual de Washington situada em Prosser (Washington, EUA) (CPCNW, 2023). A coleção da espécie é mantida no *National Clonal Germplasm Repository* pelo Departamento de Agricultura em Corvallis (Oregon, EUA), local com mais de 600 acessos e envolvendo 21 países (Driskill et al., 2022). Assim, o CPCNW detém e mantém a coleção da espécie para fins comerciais e de estudos (CPCNW, 2023). O lúpulo ‘Yakima Gold’ foi lançado em 2013 pelo cruzamento das cultivares ‘Early Cluster’ x ‘Saaz’, alcançando notas de  $\alpha$ -ácidos: 7-8%,  $\beta$ -ácidos: 3,5-4,5%, quantidade de óleos essenciais de 0,5-1,5 mL.100 g<sup>-1</sup> de flor (Savi et al., 2021) e produtividade estimada de 1800 a 2000 kg.ha<sup>-1</sup> (Leles et al., 2023).

A cultivar é legalizada no Brasil desde junho de 2019 sob o número de registro ‘39923’ (MAPA, 2023). De acordo com Leles et al. (2023), o lúpulo ‘Yakima Gold’ cultivado no Sul do Brasil teve um desempenho de ciclo tardio na primeira safra (ano 2021) e precoce na segunda (ano 2022), sendo indicado então para regiões de clima tropical. Desta maneira, pelo pouco tempo de criação da cultivar e sendo legalizada recentemente no Brasil, torna-se necessário um estudo sobre a ecofisiologia desta cultivar em condição tropical, semiárida e de baixa altitude com o uso de PB sobre o solo em diferentes sistemas de condução associados à radiação solar. Portanto, a presente pesquisa pode resultar em dados ecofisiológicos de fundamental relevância para a comunidade científica e produtora da espécie nestas condições supracitadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### a) Local e condições do experimento

O experimento foi realizado sob condição de campo (a pleno sol) em uma área localizada na Unidade de Apoio a Pesquisa (UAP) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) no período de março a julho de 2021 em Campos dos Goytacazes – RJ. O município encontra-se na latitude 21°74' S, a 11,2 m de altitude em relação ao nível do mar e com relevo plano. O outono e o inverno foram as estações estipuladas como tempo de análises para o experimento com a finalidade de estudar a adaptabilidade da cultivar 'Yakima Gold' na região Norte Fluminense. Os dados climatológicos da sazonalidade escolhida nesta região foram compatíveis com as de regiões temperadas (durante primavera/verão) onde o cultivo de *H. lupulus* L. é considerado satisfatório para o crescimento e adaptabilidade. Assim, realizou-se a análise física e química do solo da área experimental para averiguar a textura física, o pH e os nutrientes disponíveis (Tabela 2).

Tabela 2: Análise física e química do solo da área experimental.

<b>Análise física e química do solo</b>							
<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>	<b>pH</b>	<b>S-SO<sub>4</sub></b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>
	%		H <sub>2</sub> O	mg.dm <sup>-3</sup>		mmolc.dm <sup>-3</sup>	
74	15	11	7,3	88	341	36,30	122,50
<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>	<b>Na</b>	<b>C</b>	<b>MO</b>	<b>CTC</b>	<b>SB</b>
	mmolc.dm <sup>-3</sup>			g.dm <sup>-3</sup>		mmolc.dm <sup>-3</sup>	
30	0	7,20	40,70	28,80	49,65	236,70	229,50
<b>V</b>	<b>m</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	
%			mg.dm <sup>-3</sup>				
97	0	66,99	0,29	7,54	42,95	0,32	

Potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC), soma de bases trocáveis (SB), índice de saturação de bases (V), índice de saturação de alumínio (m)

Com a análise física do solo obtida foi constatada pelo manual de calagem e adubação do RJ, na escala estabelecida pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, que a área utilizada contém um solo de textura arenosa e precisamente de areia franca (74:15:11 – areia : silte : argila, Tabela 2). A granulometria das partículas do solo não ocasiona danos no crescimento radicular da espécie, ou seja, sem a compactação do solo o sistema radicular não é prejudicado, o que pode torná-lo com adequado desenvolvimento. Ainda de acordo com a análise não houve

a necessidade de correção do pH do solo pois o pH foi próximo da neutralidade (pH = 7,3, Tabela 2), o qual demonstra potencial adequado para o cultivo da espécie em estudo. Os nutrientes minerais essenciais e os elementares tiveram quantidades satisfatórias de disponibilidade para as plantas. Assim, a adubação realizada durante o experimento foi apenas com incremento de matéria orgânica da GR Agrária® (1/3 aplicado nas covas, 1/3 em volta das coroas aos 15 e 45 dias após o transplante - DAT). No decorrer do experimento o solo foi mantido na capacidade de campo por meio de irrigação do tipo gotejamento. No período vegetativo o gotejo foi realizado com 1 L de água sendo aplicado pela manhã e 1 L no final da tarde. Na fase de transição do estágio vegetativo para o reprodutivo da planta, na fase do enchimento dos cones e em dias de temperaturas supra ótimas, além da irrigação nos períodos da manhã e tarde foi aplicado por gotejo mais 1 L de água no horário do meio-dia. Na Figura 3 as variáveis microclimáticas foram monitoradas com o suporte de uma estação meteorológica das redes do INMET localizada em Campos dos Goytacazes/RJ.

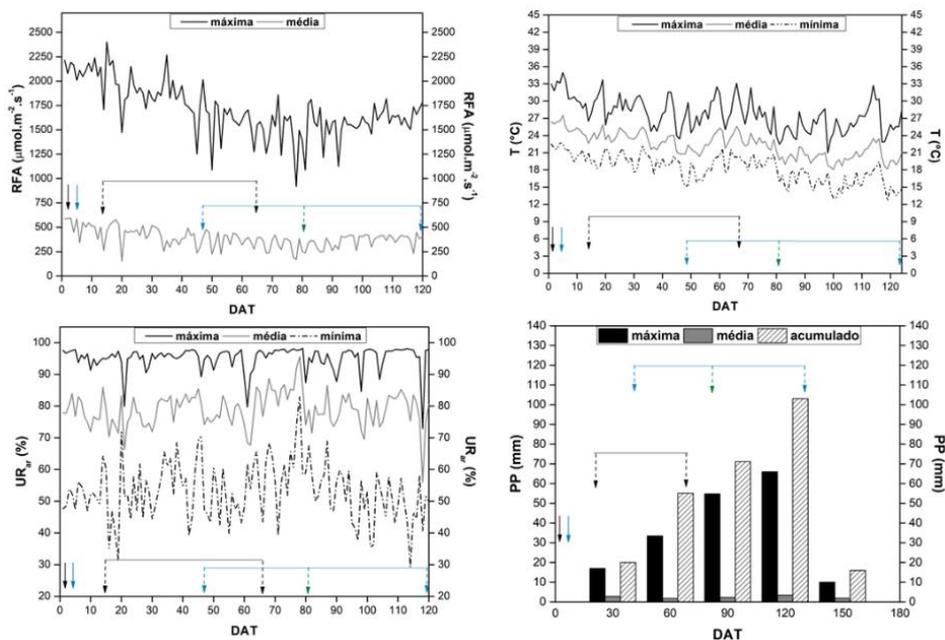


Figura 3: Dados climatológicos durante o período do experimento. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) com máxima e média; temperatura (T) e umidade relativa do ar ( $UR_{ar}$ ) com máxima, média e mínima; precipitação pluviométrica (PP) com máxima, média e acumulado; dia após transplante (DAT); seta preta indica o transplante das mudas de 'Yakima Gold'; seta azul representa aplicação dos tratamentos; setas pretas pontilhadas interligadas indicam período de avaliação do comprimento do ramo principal; setas azuis pontilhadas interligadas indicam o período de análise de uma folha recém-lançada até o final do experimento; e seta verde indica o dia de avaliação fisiológica (trocas gasosas, propriedades espectrais de reflectância da folha e emissão da fluorescência não modulada) em horários distintos da folha totalmente expandida

Com os dados de T e UR<sub>ar</sub> foram obtidos os valores do Déficit de Pressão de Vapor do Ar (DPV<sub>ar</sub>) (Figura 4) por meio da equação proposta por Jones (2013):

$$DPV_{ar} = 0,61137 * \exp((17,502 * T^{\circ}) / (240,97 + T^{\circ})) * (1 - (UR_{ar} \% / 100)) \quad (\text{Eq.1})$$

Em que:

DPV<sub>ar</sub>: déficit de pressão de vapor (kPa);

exp: exponencial;

T°: temperatura em graus Celsius;

UR<sub>ar</sub>: umidade relativa do ar em %.

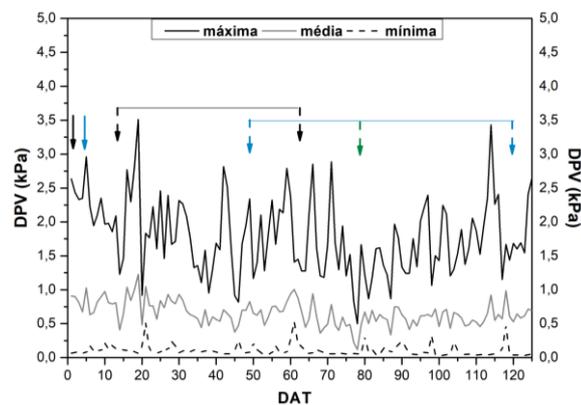


Figura 4: Déficit de pressão de vapor do ar relacionado ao dia após transplante. Déficit de pressão de vapor do ar (DPV<sub>ar</sub>) com máxima, média e mínima; dia após transplante (DAT); seta preta indica o transplante das mudas de 'Yakima Gold'; seta azul representa a poda para início do tratamento; setas pretas pontilhadas interligadas indica o período de avaliação do comprimento do ramo principal; setas azuis pontilhadas interligadas indica o período de análise de uma folha recém-lançada até o final do experimento; e seta verde indica o dia de avaliação fisiológica (trocas gasosas, propriedades espectrais de reflectância da folha e emissão da fluorescência não modulada) em horários distintos da folha totalmente expandida

## b) Material vegetal e delineamento experimental

As mudas do lúpulo 'Yakima Gold' foram preparadas por meio da macroestaquia provenientes de plantas obtidas de um jardim clonal livre de pragas e doenças localizado na casa de vegetação do laboratório de Ecofisiologia de Plantas Tropicais e Subtropicais na UENF. Deste jardim clonal foi escolhida a cultivar 'Yakima Gold' para o experimento. Esta cultivar possui origem americana pelo Vale do Yakima cuja região localizada no Noroeste do Pacífico e as características desta cultivar foram mencionadas anteriormente.

O experimento foi delineado em esquema fatorial com 2 sistemas de condução (vertical e horizontal) com 2 tipos de cobertura do solo (com PB de 25  $\mu\text{m}$  de espessura e sem PB) e com 5 repetições ao acaso. Entre as repetições (blocos) foram adicionadas plantas de bordadura para que não ocorresse efeito do ambiente externo nos tratamentos. Assim, a Figura 5 apresenta a cultivar ‘Yakima Gold’ distribuída em 4 sistemas diferentes de cultivo (tratamentos) em todos os blocos para a realização das avaliações ecofisiológicas (detalhadas no item c).

- 1º tratamento (controle): condução vertical sem PB no solo – (SPBV);
- 2º tratamento: condução vertical com PB no solo – (PBV);
- 3º tratamento: condução horizontal sem PB no solo – (SPBH) e
- 4º tratamento: condução horizontal com PB no solo – (PBH).

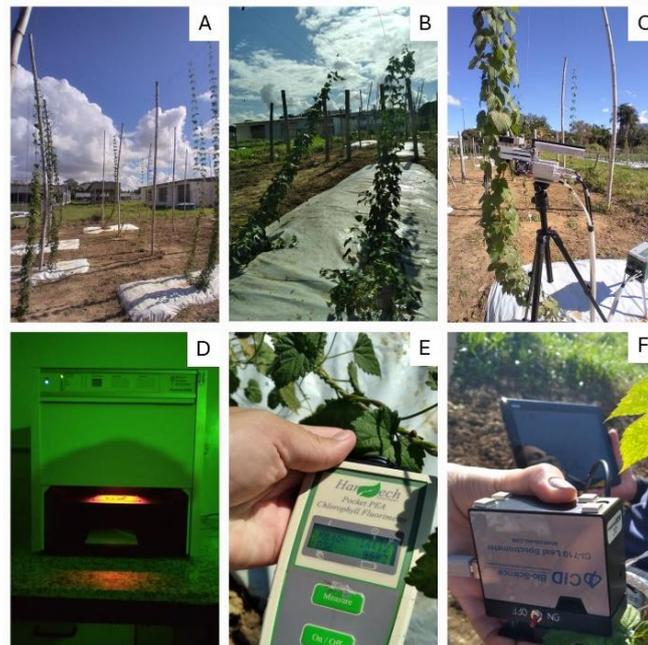


Figura 5: Tratamentos e avaliações do experimento. SPBV – sem PB na vertical e PBV – PB na vertical (A); SPBH – sem PB na horizontal e PBH – PB na horizontal (B); avaliações durante o experimento de trocas gasosas (C), emissão da fluorescência da clorofila modulada (D) e não modulada (E), e propriedades espectrais por reflectância foliar (F)

Nos sistemas SPBV e PBV (Figura 6A) as plantas foram conduzidas a uma altura de 5 m a partir da superfície do solo e iniciando do ponto mais alto do camalhão (0,20 m de elevação do solo comparado à entrelinha). Estes sistemas são conhecidos como condução de treliça alta independentemente do tipo de cobertura no solo. Ambos os tratamentos obedeceram ao espaçamento de 1 m entre plantas e 3 m entre linhas.

Nos sistemas SPBH e PBH (Figura 6B) o tutoramento ocorreu de forma oblíqua com 5 m de comprimento até alcançar a 2 m de altura a partir do ponto mais alto do camalhão e seguiu sendo conduzida na horizontal (condução de treliça baixa). Estes dois tratamentos ficaram com um espaçamento de 1 m entre plantas e 5 m entre linhas.

Tanto na condução horizontal quanto na vertical foram utilizados bambus secos como postes de sustentação. Estes bambus foram interligados por arames lisos presos por catracas. Os arames foram utilizados para a fixação de barbantes nos quais as plantas foram conduzidas do solo até o ápice de cada direção. Todas as plantas foram conduzidas nos barbantes com abertura do dossel em 'V' para que cada ramo principal pudesse ser conduzido em cada lado do barbante fixado possibilitando uma maior exposição da RFA nas folhas e que estas folhas pudessem ser escolhidas para a avaliação.

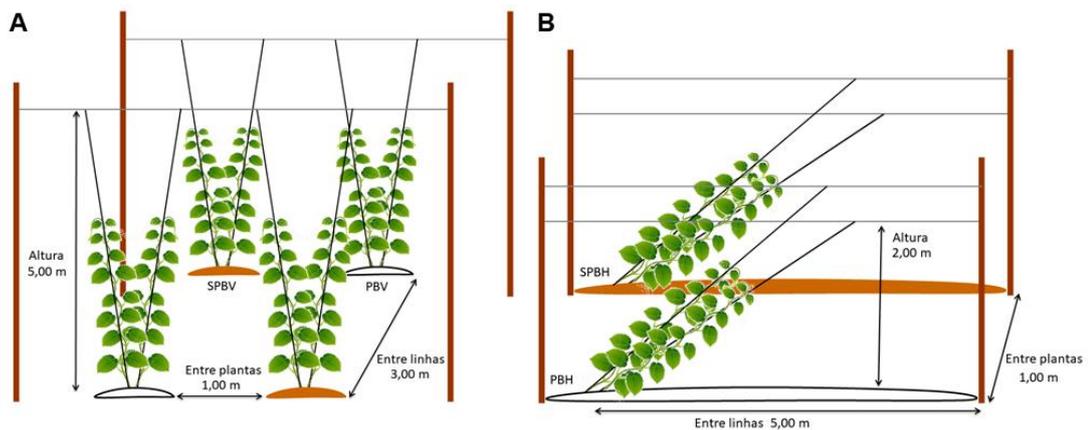


Figura 6: Sistemas de cultivo. Sem PB na condução vertical (SPBV) e com PB na condução vertical (PBV) com distanciamento entre plantas de 1 m, entre linhas de 3 m e altura de 5 m (A); sem PB em uma condução horizontal (SPBH) e com PB em uma condução horizontal (PBH) com distanciamento entre plantas de 1 m, entre linhas de 5 m e altura de 2 m (B); abertura em 'V' na condução com barbante

No início do outono de 2021 (29/03/21) as mudas que estavam aclimatadas durante 3 meses em casa de vegetação e com cerca de 0,15 m a 0,20 m de altura foram transplantadas diretamente para o solo na área do experimento. No 7º DAT (05/04/2021) a parte aérea foi podada a uma altura de 0,05 m em relação à região do coleto para que surgisse novas brotações da planta e que estas pudessem ser analisadas dentro dos tratamentos propostos nesta dissertação. Dado o exposto, o delineamento experimental ficou em esquema fatorial de 2 sistemas de condução

com 2 tipos de cobertura do solo, com 5 blocos ao acaso (DBC), totalizando 20 unidades experimentais básicas (UEB) para o estudo.

### **c) Avaliações**

#### **Análises de crescimento**

No 14<sup>o</sup> DAT (12/04/2021) iniciou-se a avaliação do Crescimento do Ramo Principal (CRP) com o auxílio de uma trena graduada e as avaliações foram feitas a partir da região do coleto até o meristema apical da planta. Desta forma, foi escolhido um ramo por tratamento e semanalmente a medição foi realizada em um período mais fresco do dia (entre 16 e 17 h). Durante 10 semanas foram obtidas respostas sobre o CRP de cada tratamento. Aos 49<sup>o</sup> DAT (5<sup>a</sup> semana – 17/05/2021) e em todos os tratamentos foi escolhido um par de folha recém-lançada (com cerca de 10 a 15 mm de CNC da folha). Neste par de folha, a folha exposta à luz natural foi escolhida para a avaliação do CNC.

Na folha muito jovem com tamanho inicial de CNC em cerca de 10 a 15 mm iniciou-se a cada 3 dias o acompanhamento do valor desta variável e para a medição foi utilizada uma régua graduada. As folhas escolhidas para a realização das análises de CNC foram as folhas recém-lançadas que estavam localizadas em ramos principais, expostas a luz e entre 0,50 e 2 m de altura a partir da superfície do solo. Esta avaliação foi feita até que o valor do CNC se tornou constante. Quando esta folha teve o valor constante do CNC foram feitas as avaliações das trocas gasosas, da emissão da fluorescência da clorofila e dos índices espectrais da folha (os detalhes destas avaliações serão relatados posteriormente).

#### **Índice de cor de verde da folha (índice SPAD)**

Juntamente com a medição de CNC, a cada 3 dias foi avaliada na mesma folha o índice de cor de verde (índice SPAD) por meio do medidor portátil de clorofila modelo SPAD – 502 (Minolta, Japão). Assim, com três avaliações em áreas diferentes da folha foi obtida a média da análise. As medidas foram realizadas na parte da tarde (entre 16 e 17 h) mantendo um padrão de horário durante o ciclo da planta. O acompanhamento do valor do índice SPAD foi desde a folha muito jovem marcada até o último dia do ciclo da cultura (120 DAT) ou último dia da folha fixada na planta (senescência).

### RFA na parte basal do dossel

No terceiro dia em que a folha marcada alcançou a estabilização do CNC e o índice SPAD permaneceu também constante (80° DAT – 17/06/2021) foram realizadas as análises de RFA em dia de sol pleno com 3 posições de medições. Assim, utilizando o equipamento quantômetro *Quantum Light Bar*, modelo 366816 (*Spectrum Technologies, Inc.*, EUA) as medidas de RFA foram realizadas a cada hora ao longo do dia (iniciando as 6 h e finalizando as 17 h).

Para a primeira posição o quantômetro foi posicionado fora do dossel da planta com os sensores voltados para cima do lado da folha que estabilizou o valor do CNC, cerca de 20 mm de distância da folha e na faixa de 0,50 a 2 m de altura em relação a superfície do solo. Esta medida avaliou a RFA incidente sobre o dossel (RFAinc Fd, Figura 7a). Na segunda posição de avaliação da RFA o quantômetro foi inserido dentro do dossel com os sensores também voltados para cima na mesma altura e do lado da folha que estabilizou o valor do CNC, cerca de 20 mm de distância da folha e na faixa de 0,50 a 2 m de altura em relação a superfície do solo. Nesta condição foi avaliada a RFA incidente dentro do dossel (RFAinc Dd, Figura 7b). A terceira e última posição de avaliação da RFA foi na mesma posição em que foi realizada a medida do RFAinc Dd, porém o quantômetro foi girado para que os sensores ficassem direcionados para a superfície do solo. Assim foi possível avaliar a RFA refletida dentro do dossel da planta (RFAref Dd, Figura 7c).

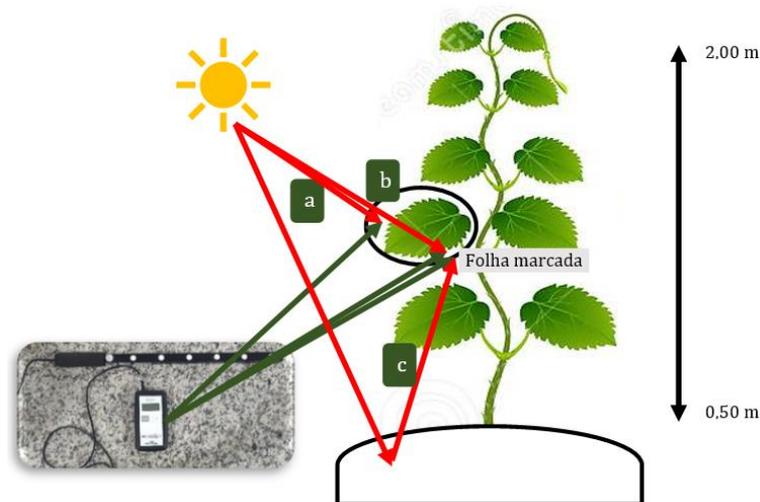


Figura 7: Posições de avaliação da RFA na folha que estabilizou o valor do CNC. RFAinc Fd (a), RFAinc Dd (b) e RFAref Dd (c)

### Trocas gasosas de uma folha totalmente expandida

Um dia após as medições de RFA, no 81º DAT (18/06/2021) na mesma folha marcada onde o CNC e o índice SPAD tiveram os valores constantes foi realizada a avaliação de trocas gasosas foliares utilizando o sistema portátil de medição de trocas gasosas IRGA (*infrared gas analyser*) LI-6400 XT (LI-COR, Nebraska, USA). Assim, durante as avaliações com IRGA LI-6400 foi utilizada a RFA saturante de  $1.500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Esta intensidade da RFA foi obtida por meio de uma fonte artificial acoplada ao analisador de gases a infravermelho. Durante as avaliações foi utilizada uma câmara de  $600 \text{ mm}^2$  ( $30 \times 20 \text{ mm}$ ) e o fluxo de ar aplicado para dentro da câmara foi de  $300 \mu\text{mol}.\text{s}^{-1}$  (para espécies de metabolismo C3). No momento da avaliação a  $[\text{CO}_2]$  de referência foi de  $410 \mu\text{mol}.\text{mol}^{-1}$ ,  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\text{DPV}_{\text{ar}}$  próximo de  $1,0 \text{ kPa}$ . A análise das variáveis obtidas pelo IRGA LI-6400 ocorreu em dois períodos distintos do 81º DAT e a pleno sol. A primeira avaliação foi entre 7 e 8 h (medida da manhã) e a segunda avaliação foi entre 12 e 13 h (medida de meio-dia).

Por meio do IRGA LI-6400 foram obtidas as seguintes variáveis:

- 1)  $A_{1500}$ : taxa fotossintética líquida a  $1500 \mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );
- 2)  $E$ : transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );
- 3)  $g_s$ : condutância estomática ( $\text{mol H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );
- 4)  $C_i$ : concentração de  $\text{CO}_2$  no mesofilo foliar ( $\mu\text{mol}.\text{mol}^{-1}$ ) e
- 5)  $C_i/C_a$ : relação da concentração interna/concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$ .

A partir destes dados foi possível estimar:

- 6)  $A/C_i$ : eficiência carboxilativa ( $\mu\text{mol CO}_2.\mu\text{mol}.\text{mol}^{-1}$ );
- 7)  $A/g_s$ : eficiência intrínseca do uso da água ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$ ) e
- 8)  $A/E$ : eficiência instantânea do uso da água ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$ ).

### Emissão da fluorescência da clorofila - FC

Concomitantemente com as análises do IRGA LI-6400, nos mesmos horários e nas mesmas folhas utilizadas nas avaliações das trocas gasosas a folha marcada e totalmente expandida foi analisada a emissão da fluorescência da clorofila (FC) por meio do fluorímetro portátil não modulado Pocket PEA (*Plant Efficiency Analyser*, Hansatech, Inglaterra). Antes das avaliações da FC as partes da folha avaliada foram mantidas no escuro por 30 minutos para o completo fechamento de todos os centros de reação do PSII (Bhagooli et al., 2023). De acordo com Arnold et al. (2023), o Pocket PEA possui uma fonte de luz não modulada por

meio de um emissor com comprimento de onda da luz actínica (promove a indução fotossintética) na faixa de 625 nm. Após a avaliação da fluorescência inicial ( $F_0$ ) o fluorímetro emite uma RFA de intensidade de saturação em torno de  $3.500 \mu\text{mol f\u00f3tons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  em uma \u00e1rea circular  $12,56 \text{ mm}^2$ . Os registros da intensidade da fluoresc\u00eancia foram efetuados em intervalos diferentes [ $10 \mu\text{s}$  (0-300  $\mu\text{s}$ ) para  $F_0$ ; e  $100 \mu\text{s}$  (0,3-3 ms); 1 ms (3-30 ms); 10 ms (0,03-0,3 s) e 100 ms (0,3-1 s) para as demais vari\u00e1veis] (Strasser et al., 2004).

A primeira avalia\u00e7\u00e3o da FC foi entre 7 e 8 h (medida da manh\u00e3) e a segunda avalia\u00e7\u00e3o foi entre 12 e 13 h (medida de meio-dia). Ap\u00f3s o tempo de obscuridade por meio do uso de *leafclips* foi posicionado o fluor\u00edmetro n\u00e3o modulado Pocket PEA no *leafclip* para que se efetuasse a mensura\u00e7\u00e3o das vari\u00e1veis da FC. A partir da cin\u00e9tica r\u00e1pida de emiss\u00e3o da FC no tempo de acordo com o  $\text{JIP}_{\text{test}}$  (Strasser et al., 2004) e por meio do software Biolyzer (Fluoromatics Software, Switzerland) foram analisados os dados de cada per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o (manh\u00e3 e meio-dia). Desta forma, utilizando o software PEA Plus (vers\u00e3o 1.3) e de acordo com Stirbet & Govindjee (2011) e Bhagooli et al. (2023), as vari\u00e1veis utilizadas foram abaixo relacionadas:

1) Vari\u00e1veis t\u00e9cnicas da FC:

$F_0$ : fluoresc\u00eancia m\u00ednima (inicial), induzida por meio do uso de uma luz modulante fraca capturada e a intensidade desta  $F_0$  foi armazenada pelo fluor\u00edmetro;

$F_m$ : fluoresc\u00eancia m\u00e1xima, intensidade m\u00e1xima da fluoresc\u00eancia obtida por meio de uma luz saturante.

2)  $\text{PI}_{\text{Abs}}$ : "*Performance Index*", esta vari\u00e1vel \u00e9 multiparam\u00e9trica e \u00e9 constitu\u00edda por tr\u00eas componentes relacionados \u00e0 efici\u00eancia fotoqu\u00edmica do PSII. Um componente relacionado com a absor\u00e7\u00e3o do f\u00f3ton (RC/ABS), um outro componente relacionado \u00e0 efici\u00eancia na captura do f\u00f3ton pelos centros de rea\u00e7\u00e3o ( $F_v/F_0$ ) e o componente relacionado com a efici\u00eancia no transporte de el\u00e9trons (ET/TR - ET). Assim,  $\text{PI}_{\text{Abs}} = \text{absor\u00e7\u00e3o} \times \text{captura} \times \text{transporte de el\u00e9trons}$ :

$$\text{PI}_{\text{Abs}} = (\text{RC/ABS}) \times (F_v/F_0) \times (\text{ET/TR} - \text{ET}) \quad (\text{Eq.2})$$

$$\text{PI}_{\text{Abs}} = 1 - (F_0/F_m)/(M_0/V_J) \times (F_m - F_0)/F_0 \times (1 - V_J)/V_J \quad (\text{Eq.3})$$

Em que:

$F_0$  é a fluorescência em 50  $\mu\text{s}$ ;

$F_J$  é a fluorescência no tempo J (2 ms);

$F_m$  representa a fluorescência máxima;

$V_J$  é a fluorescência variável relativa no tempo de 2 ms, sendo:

$$V_J = (F_J - F_0) / (F_m - F_0) \quad (\text{Eq.4})$$

$M_0$  representa a inclinação inicial da curva relacionada com a cinética da fluorescência e pode ser derivada da equação:

$$M_0 = 4 \times (F_{300\mu\text{s}}) / (F_m - F_0) \quad (\text{Eq.5})$$

$F_{300}$  é a fluorescência no tempo 300  $\mu\text{s}$ .

3) As proporções de fluxo ou rendimento:

- Eficiência: ET/TR, probabilidade de que 1 elétron que reduziu a quinona a ( $Q_A$ ) ser transferido de  $Q_A$  para a quinona b ( $Q_B$ ).

$$\text{ET/TR} = 1 - [(F_J - F_0) / (F_m - F_0)] \quad (\text{Eq.6})$$

- Rendimento quântico do fluxo de transporte de elétrons de  $Q_A$  para  $Q_B$ : ET/ABS, apresenta a eficiência na qual um fóton absorvido resulta no transporte de elétrons além da quinona a oxidada ( $Q_A^-$ ).

$$\text{ET/ABS} = [(1 - F_0 / F_m) \times (\text{ET/TR})] \quad (\text{Eq.7})$$

- Fluxo de energia fenomenológica por seção transversal excitada (ou densidade):

O número de centros de reação ativos por seção transversal: RC/ $CS_0$ , mostra a densidade dos centros de reação ativos capazes de reduzir  $Q_A^-$ .

$$\text{RC}/CS_0 = [F_v / F_m \times \{[(F_J - F_0) / (F_m - F_0)] / M_0\} \times F_0] \quad (\text{Eq.8})$$

Dissipação:  $DI_0/CS_0$ , taxa de dissipação térmica de energia no PSII por seção transversal de uma folha excitada.

$$DI_0/CS_0 = (\text{ABS}/CS_0) - (\text{TR}_0/CS_0) \quad (\text{Eq.9})$$

### **Emissão da fluorescência modulada da clorofila por imagem - FCI**

A emissão da fluorescência modulada da clorofila por imagem (FCi) foi avaliada no período da manhã (7 a 8 h) na folha oposta à folha marcada e na avaliação de meio-dia (12 a 13 h) foi escolhida a primeira folha abaixo da folha marcada. Assim, foi utilizado o fluorímetro modulado FluorCam modelo 800MF (*Photon Systems Instruments – Drasow, República Tcheca*). Nesta avaliação a folha analisada foi colocada no FluorCam a uma distância de 200 mm até a lente da câmera CCD (dispositivo de carga acoplada). Com esta distância foram obtidas 50 imagens por segundo da folha por meio de uma fonte de luz branca fria 6500K em painel de LED fixo (90 mm x 90 mm) e a lente estava posicionada em um ângulo de 45°.

O protocolo utilizado foi o *Light curve* com velocidade do obturador de 20  $\mu\text{s}$ , sensibilidade de 6,5%, com seis intensidades de luz actínica (145, 246, 449, 651, 854 e 1056  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e a luz de flash de saturação foi de 1485  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Por meio deste protocolo foram calculadas as variáveis da fluorescência modulada com base na média de resolução com 512 x 512 pixels em cada folha analisada. A  $F_o$  foi inicialmente avaliada e posteriormente foi emitido um pulso de RFA saturante (1485  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), o qual foi possível detectar e armazenar a  $F_m$ . Após a aplicação da RFA saturante a luz actínica foi ligada e durante o momento desta luz actínica esta permaneceu na primeira intensidade (145  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Seguidamente foi aplicado um novo pulso de saturação para determinação de  $F_m'$ . Após uma sequência de pulsos saturantes, por fim foi dado um flash no espectro do vermelho distante para a determinação do  $F_o'$ . Por meio de curvas de luz foi possível obter os valores das variáveis da fluorescência modulada por meio do software FluorCam.

A folha oposta à folha marcada foi a primeira folha a ser totalmente adaptada ao escuro durante 30 minutos por meio de papel alumínio para a avaliação do período da manhã. Após esta adaptação no escuro a folha foi destacada e levada ao equipamento FluorCam. A folha do nó abaixo da folha marcada foi utilizada na avaliação do período de meio-dia e os procedimentos para a avaliação da FCI neste horário foi a mesma utilizada na folha coletada na medição da manhã. Assim, de acordo com os autores Genty et al. (1989), Horton & Ruban (1992), Horton et al. (1996), Lichtenthaler & Miehe (1997), Oxborough & Baker (1997), Oxborough (2004) e Bhagooli et al. (2023) foram obtidas as variáveis da emissão da FCI abaixo relacionadas:

- 1) NPQ: taxa de dissipação não-fotoquímica (*quenching* não-fotoquímico). Esta variável quantifica a dissipação térmica a qual pode proteger a maquinaria fotossintética da fotoinibição quando a energia absorvida supera a quantidade que esta maquinaria fotossintética necessita;
- 2) qP: taxa de dissipação fotoquímica (*quenching* fotoquímico), avalia a proporção dos centros de reação do PSII que estão abertos;
- 3) ETR: taxa linear de transporte de elétrons (e<sup>-</sup>) (μmol e<sup>-</sup>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>). A taxa linear de elétrons a partir do complexo antena (onde a luz é capturada) para o centro de reação do PSII, sendo:

$$\text{ETR} = \Phi_{II_e} \times \text{RFA} \times 0,84 \times 0,50 \quad (\text{Eq.10})$$

Em que:

$\Phi_{II_e}$  é o rendimento quântico efetivo do PSII;

RFA é a radiação fotossinteticamente ativa;

0,84 representa 84% da luz incidente que é absorvida pelas moléculas de clorofila sobre a folha;

0,50 indica que apenas 50% dos fótons ativam as moléculas de clorofila associadas ao PSII, os outros 50% dos fótons ativam as moléculas que estão associadas ao PSI.

- 4)  $QY_{\text{máx}}$  ( $F_v/F_m$ ): rendimento quântico máximo do PSII, indicador da eficiência máxima do PSII se todos os centros de reação estiverem abertos.

### **Propriedades espectrais de uma folha totalmente expandida**

Para a avaliação das propriedades espectrais de reflectância foliar foi utilizado um espectrômetro de folha em miniatura modelo CI-710 (CID Bio- Science, EUA). A reflectância da radiação pelo limbo foliar é feita em diferentes comprimentos de onda (400 a 1000 nm) (Rodríguez-Moreno et al., 2022). Em dois períodos distintos (manhã: 7 a 8 h e meio-dia: 12 a 13 h), no dia 81º DAT e à pleno sol a avaliação das propriedades espectrais foi feita na mesma folha utilizada na avaliação das trocas gasosas e na avaliação da emissão da FC. A partir da reflectância de diferentes comprimentos de onda utilizados foram calculados os índices espectrais abaixo relatados:

1) PRI –Índice de Reflectância Fotoquímica (*Photochemical Reflectance Index*):

$$PRI = [(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})] \text{ (Gamon et al., 1992)} \quad (\text{Eq.11})$$

2) CNDVI – Índice de vegetação por diferença normalizada de clorofila:

$$CNDVI = [(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})] \text{ (Wang et al., 2021)} \quad (\text{Eq.12})$$

3) WBI – Índice de balanço de água:

$$WBI = (R_{970}/R_{900}) \text{ (Peñuelas et al., 2010)} \quad (\text{Eq.13})$$

### **Análises biométricas finais**

No mesmo dia da avaliação das trocas gasosas, das propriedades espectrais de reflectância da folha e da emissão da fluorescência não modulada (81° DAT) foi avaliada a massa foliar específica (MFE). Assim, foi retirado um disco (450 mm<sup>2</sup>) da mesma folha após a medida da emissão da FCI. Esta folha em que se avaliou a MFE foi a folha que estava totalmente expandida, dentro da faixa de altura de 0,50 m e 2 m em relação ao coleto da planta, e localizada na posição externa do dossel (exposição direta de RFA). Este disco foi levado a estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 65 °C por 72 h para a obtenção da massa seca. A partir da área do disco e da respectiva massa seca foi obtida a MFE (g.m<sup>-2</sup>) por meio da relação entre a massa seca de cada disco e sua respectiva área.

Após a avaliação da MFE foi determinado o teor de cinzas (% cinzas) destes discos. Para esta análise do % cinzas foram separados cadinhos de porcelana e identificados de acordo com os tratamentos e repetições utilizados no experimento a céu aberto. Nestes cadinhos foram colocados entre 0,0200-0,0300 g da amostra. Antes de colocar as amostras no cadinho a balança foi tarada com o cadinho sobre a balança e em seguida foram colocadas as amostras da massa determinada. Os cadinhos foram levados à mufla da Quimis (modelo Q318M24, São Paulo, Brasil), a uma temperatura entre 500 e 600 °C, durante 8 h e de acordo com UNI EM 14775 (2010). Após o uso na mufla as amostras com aspecto de cinzas foram resfriadas em dessecador de vidro contendo sílica em gel. Com os cadinhos resfriados as

amostras foram novamente pesadas em um recipiente tarado na balança analítica de precisão e o teor de cinzas foi determinado em % (base na matéria seca) (Amoriello et al., 2020).

No final do experimento, cerca de 120º DAT (27 de julho de 2021) foram retiradas as plantas dos tratamentos para análise final de biometria. Desta forma, foram avaliadas por contagem simples o número de ramos principais (Nrp) e laterais (Nrl) e número de folhas dos ramos principais (NFrp) e laterais (NFrl). Para o comprimento médio do entrenó dos ramos principais (CME) utilizou-se uma régua graduada. Com as folhas retiradas dos ramos analisou-se a área foliar dos ramos principais (AFrp) e laterais (AFrl) utilizando o medidor de área foliar de bancada do tipo Li-Cor modelo 3100 (Nebraska, USA). Ainda, foi determinado o comprimento médio dos cones (CMC) e o diâmetro médio dos cones (DMC) utilizando um paquímetro digital da Uyustools (modelo cld006).

Na avaliação da massa fresca dos cones por planta (MFC) foi utilizada uma balança analítica de precisão. Ao utilizar uma estufa de circulação forçada a 40 °C durante 8 h para que em torno de 88% da umidade fosse perdida durante a secagem, obteve-se a massa seca dos cones por planta (MSCo). A produtividade estimada ( $Pe = MSCo \text{ (kg)} \times \text{números de plantas em 1 ha}$ ) foi calculada de acordo com o espaçamento determinado de cada sistema. Nos tratamentos na condução vertical o espaçamento foi de 3 x 1 m, assim 1 ha de produção corresponde a 3.330 plantas de lúpulo. Para os tratamentos na condução horizontal o espaçamento ficou delimitado em 1 x 5 m, logo em 1 ha serão produzidas 2.000 plantas de lúpulo. A umidade dos cones florais em torno de 12% é considerada como adequada para a obtenção de MSCo, também sendo utilizada esta porcentagem para as análises fitoquímicas e o armazenamento. Em razão da área experimental não permitir muitas repetições dos tratamentos empregados, a análise fitoquímica ( $\alpha$ - e  $\beta$ -ácidos, e óleos essenciais) foi desconsiderada nesta dissertação.

Para a análise de massa seca dos ramos principais (MSrp) e laterais (MSrl), e a massa seca foliar dos ramos principais (MSFrp) e laterais (MSFrl) foi utilizada uma estufa de circulação de ar forçada a 65 °C durante 72 h e após esse tempo as amostras foram pesadas em uma balança analítica de precisão (Shimadzu, modelo AY220). Com os dados de massa seca foliar total (Eq. 14), massa seca do caule total (Eq. 15) e a massa seca do cone (MSCo) foi estimada a massa seca total (MSt). Assim foi possível calcular a % de alocação de fotoassimilados da parte

aérea. Desta forma, obteve-se as variáveis de alocação de fotoassimilados na folha (%FF), no caule (%FCa) e no cone (%FCo).

$$MSFt = MSFrp + MSFrl \quad (\text{Eq.14})$$

$$MSCa = MSrp + MSrl \quad (\text{Eq.15})$$

#### **d) Análise estatística**

Na análise estatística todas as variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA) pelo esquema fatorial de 2 sistemas de condução x 2 coberturas do solo, repetidos 5 vezes no delineamento de blocos ao acaso (DBC). Ainda, nos dias 80 e 81 DAT foram obtidas leituras para as análises em horários distintos, à pleno sol e em uma folha completamente expandida. Nas análises de variância quando os resultados foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey baseado pela diferença mínima significativa (DMS) ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Assim, foram utilizados os recursos computacionais do Sisvar (versão 5.7) e os gráficos foram plotados por meio do programa OriginPro (versão 9.3).

## RESULTADOS

Na área experimental e durante o outono/inverno, a precipitação pluviométrica foi de 250 mm e o fotoperíodo ficou em torno de 11 a 13 h. A temperatura apresentou uma média de 22 °C, valor semelhante à encontrada na região Serrana do RJ durante as estações primavera/verão. A região Serrana é produtora de lúpulo e é reconhecida desde 2022 com o Título de Capital Nacional do Lúpulo pelo Governo Federal, Lei N° 14.414. Portanto, a média de temperatura durante a sazonalidade escolhida para o experimento não foi um fator que influenciou nos resultados. O CRP foi mensurado até a 10ª semana (78º DAT, Figura 8). As plantas crescidas em todos os sistemas de cultivo somente ultrapassaram 0,50 m após 4 semanas de cultivo. No 49º DAT foi marcada uma folha muito jovem com o limbo aberto para acompanhar o CNC e para realizar as análises ecofisiológicas. Os sistemas partir da 5ª semana (56º DAT) promoveram no CRP a ordem SPBV < SPBH < PBH < PBV. No final do estágio vegetativo as plantas que foram manejadas com PBV, PBH e SPBH tiveram os valores em 49,05% (1,85 m), 30,18% (0,83 m) e 21,22% (0,51 m), respectivamente maior de CRP quando comparadas com as plantas do sistema SPBV.

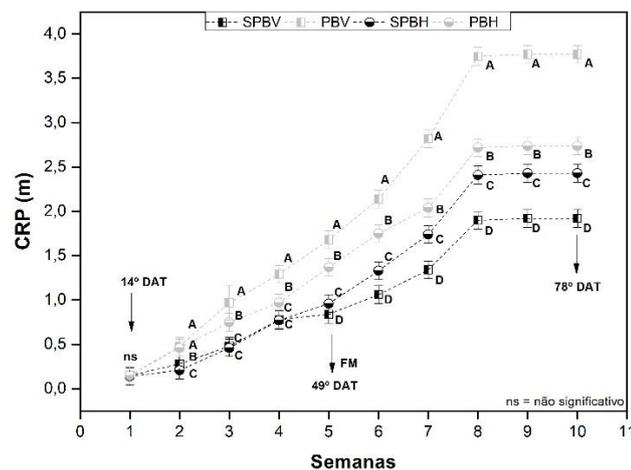


Figura 8: Comprimento do ramo principal (CRP) no decorrer das semanas após o transplante (DAT). Sem plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); 14º DAT indica o primeiro dia de avaliação, 49º DAT representa plantas acima de 0,50 m; 78º DAT representa final do estágio vegetativo; FM indica folha marcada; cada ponto representa média de 5 repetições cada tratamento; as barras indicam o erro padrão; letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Na Figura 9 mostra o CNC da folha marcada no 49º DAT em todos os tratamentos e a partir dos 4 primeiros dias teve uma taxa de crescimento elevada e semelhante ( $\approx 7$  mm/dia). Depois de 8 dias de recém-abertas ( $\approx 56$  DAT) e quando comparado com os demais tratamentos a folha com PBV iniciou um maior incremento do CNC.

Aos 81 DAT as plantas de todos os tratamentos estabilizaram o valor do CNC, sendo que as folhas do tratamento PBV teve o maior valor final desta variável (PBV > PBH = SPBV = SPBH). Desta forma, a folha marcada com PBV teve 13 mm (14,30%) e 14 mm (15,40%) a mais na diferença das folhas marcadas com PBH e SPBV, respectivamente, bem como o incremento de 20 mm (21,97%) em relação ao tratamento SPBH.

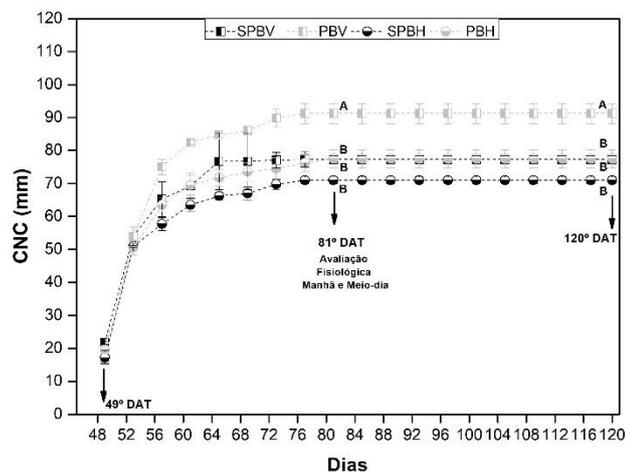


Figura 9: Comprimento da nervura central (CNC) em relação aos DAT. Sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); 49º DAT indica o dia que iniciou a avaliação; 81º DAT indica o dia que foram feitas avaliações fisiológicas na folha marcada; 120º DAT representa o último dia de avaliação; cada ponto representa média de 5 repetições cada tratamento; as barras indicam o erro padrão; letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A partir da abertura do limbo foliar (49 DAT) e até a senescência de uma folha foi avaliado o índice de cor verde das folhas (índice SPAD) (como exemplo dos valores do índice SPAD de todos os tratamentos na Figura 10 e da coloração das folhas são mostrados na Figura 11). Na Figura 10 observa-se que em todos os tratamentos houve maior taxa de incremento nos valores do índice SPAD a partir da 52º DAT e com estabilidade dos valores próximos aos 64º DAT. A partir dos 64º DAT os valores se mantiveram constantes até os 84º DAT, sendo que aos 81 dias os tratamentos PBH, PBV e SBPH tiveram maiores valores quando comparados com o

tratamento SPBV (valor do índice SPAD de 44,0). Ainda, aos 120<sup>o</sup> DAT apenas os cultivos que tiveram a cobertura com o PB sobre o solo (PBH e PBV), mantiveram por um período maior valores do índice SPAD superiores. No entanto, os sistemas sem o PB sobre o solo (SPBV e SPBH) tiveram uma redução acentuada da variável.

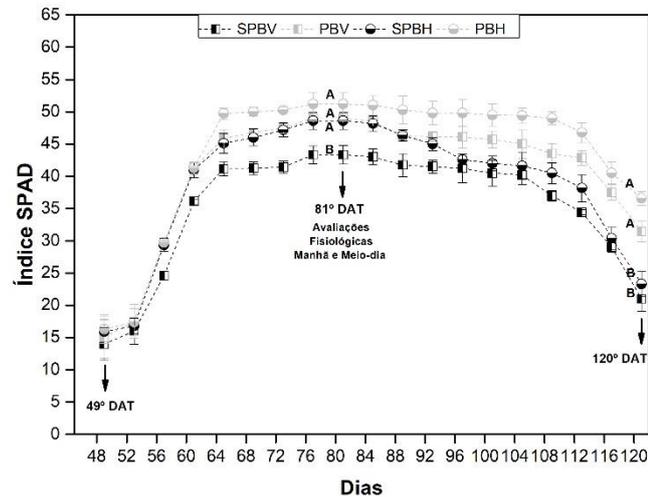


Figura 10: Índice de cor de verde na folha (índice SPAD) em relação as semanas após o transplante (DAT). Sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); 49<sup>o</sup> DAT indica o dia que iniciou a avaliação; 81<sup>o</sup> DAT indica o dia que foram feitas avaliações fisiológicas na folha marcada; 120<sup>o</sup> DAT representa o último dia de avaliação; cada ponto representa média de 5 repetições cada tratamento; as barras indicam o erro padrão; letras com fundo cinza representam estatística no dia do índice SPAD estabilizado; letras sem fundo cinza indica estatística do índice SPAD no 120<sup>o</sup> DAT; letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )



Figura 11: Ontogenia foliar numa folha localizada entre 0,50 m e 2 m.

Ao comparar o CNC e o índice SPAD a cada três dias durante um ciclo da planta (Figura 12) as folhas avaliadas em todos os tratamentos alcançaram estabilidade nos valores das variáveis depois de 28 dias e se mantiveram estáveis durante 5 dias (77<sup>o</sup> ao 81<sup>o</sup> DAT). A partir do 33<sup>o</sup> dia de abertura do limbo foliar (82<sup>o</sup> DAT) as folhas dos tratamentos SPBV e SPBH, apesar do CNC constante, iniciaram o processo de senescência (decréscimo nos valores do índice SPAD).

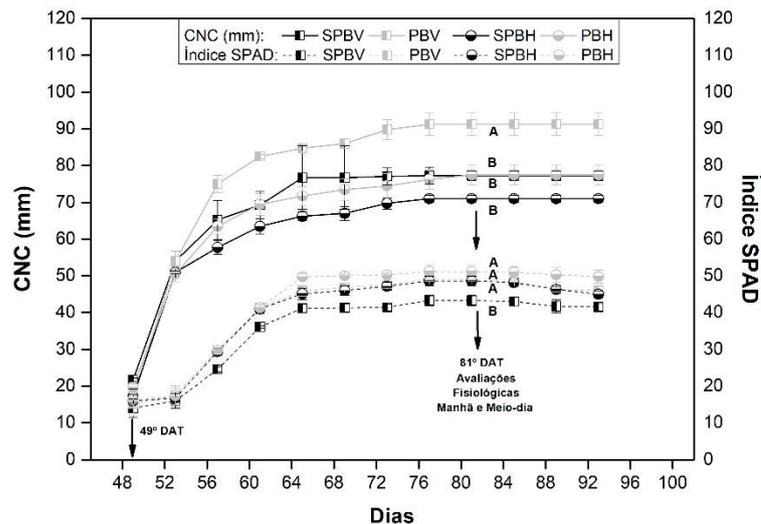


Figura 12: Relação do comprimento da nervura central (CNC) com o índice SPAD no decorrer dos dias. Sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); 49<sup>o</sup> DAT indica o dia que iniciou a avaliação; 81<sup>o</sup> DAT indica o dia que foram feitas avaliações fisiológicas na folha marcada; cada ponto representa média de 5 repetições cada tratamento; as barras indicam o erro padrão; letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Na Figura 13 a RFAinc Fd na avaliação feita no horário da manhã mostrou pelos sistemas de conduções verticais (SPBV e PBV) uma diferença média de 82,12  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a mais quando comparados às plantas das conduções horizontais (SPBH e PBH). No horário de meio-dia esta diferença média foi reduzida para 65,49  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Nos sistemas de cobertura sobre o solo e no horário da manhã as plantas com PBV e PBH tiveram uma variação média de 62,61  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  de RFAinc Fd superior em comparação às plantas sem PB no solo (SPBV e SPBH). Ao meio-dia essa diferença aumentou em 114,04% (134,01  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ).

As medições de RFAinc Fd com maior RFA (12 h e 13 h) sobre os diferentes sistemas de cultivo tiveram a mesma ordem na diferença estatística tanto às 12 h

quanto às 13 h, em que a ordem de significância dos tratamentos foi SPBV < SPBH < PBH < PBV.

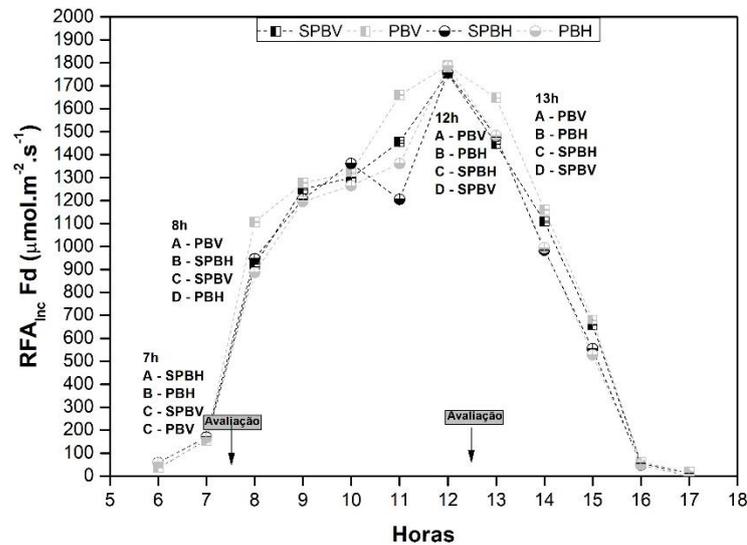


Figura 13: Radiação fotossinteticamente ativa incidente na parte externa do dossel (RFA<sub>inc</sub> Fd) em relação às horas do dia (80° DAT). Sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); seta preta indica os horários distintos das avaliações (manhã = 7h a 8h, e meio-dia = 12h a 13h); cada ponto representa média de 5 repetições cada tratamento; as barras indicam o erro padrão; letras iguais seguidas dos tratamentos não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Em relação à RFA<sub>inc</sub> Dd (Figura 14) no horário da manhã (7 h e 8 h) as plantas em sistema verticais (SPBV e PBV) tiveram uma diferença média de 386  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  superior quando comparadas com as plantas em sistemas horizontais (SPBH e PBH). No horário do meio-dia (12 h e 13 h) essa variação foi maior que 50% e apresentou um valor de 159,37  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  nas plantas na condução vertical em relação às plantas na condução horizontal.

No horário da manhã as plantas com PBV e PBH tiveram uma média superior de 109,53  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  quando comparadas as plantas SPBV e SPBH. Contudo, quando se compara ao meio-dia as plantas com PBV e PBH com as plantas SPBV e SPBH o valor da diferença reduziu consideravelmente para 15,88  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (cerca de 85,50% de redução).

No horário da manhã o sistema SPBH apresentou valores de 21 a 387,25  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e no horário de meio-dia com valores de RFA<sub>inc</sub> Dd de 19,25 a 62,5  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Quando associados ao sistema com PBV (maior RFA<sub>inc</sub> Dd) estes resultados foram inferiores. Desta maneira, as plantas SPBH relacionadas ao

sistema com PBV, mostraram uma redução da radiação incidente dentro do dossel variando de 14,94% a 42,85% no horário da manhã e de 1,25% a 4,21% no horário do meio-dia.

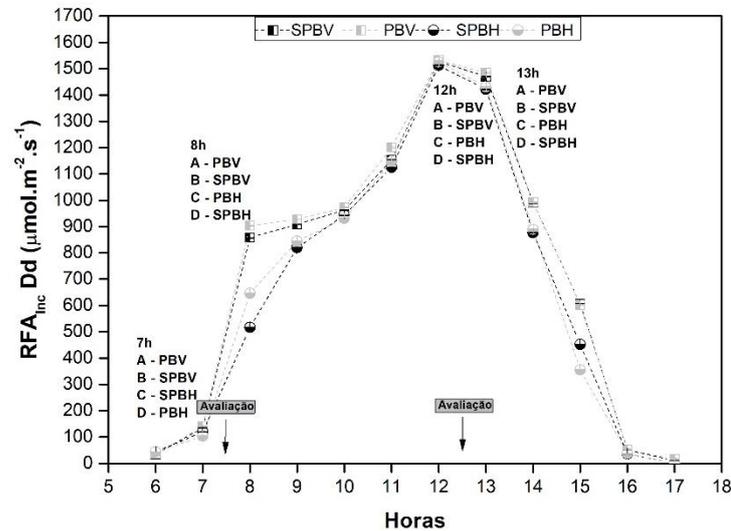


Figura 14: Radiação fotossinteticamente ativa incidente dentro do dossel (RFA<sub>inc</sub> Dd) no decorrer das horas do 80<sup>o</sup> DAT. Sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); seta preta indica os horários distintos das avaliações; cada ponto representa média de 5 repetições cada tratamento; as barras indicam o erro padrão; letras iguais seguidas dos tratamentos não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

A Figura 15 referente à RFA<sub>ref</sub> Dd mostra no horário da manhã as plantas na condução horizontal (SPBH e PBH) que foram expostas a uma intensidade de 91,9  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  maior do que as plantas conduzidas na vertical (SPBV e PBV). Ao meio-dia essa diferença média nos valores foi de 97,13  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  de RFA<sub>ref</sub> Dd.

No horário da manhã os sistemas com PB (PBV e PBH) tiveram uma média de 203,40  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  superior aos valores refletidos pelas plantas sem PB (SPBV e SPBH). Da mesma forma, na avaliação ao meio-dia e em relação aos sistemas SPBV e SPBH a diferença média aumentou em 83,19% (372,62  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) de RFA<sub>ref</sub> Dd nas plantas com PBV e PBH.

Na condução horizontal e com o uso de PB no solo (sistema PBH) a RFA<sub>ref</sub> Dd teve valores elevados e significativos quando relacionados ao sistema sem PB no mesmo tipo condução (SPBH). No horário da manhã e para o sistema com PBH os valores de RFA<sub>ref</sub> Dd foram de 32,25 a 103,75  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (7 h e 8 h, respectivamente) e superiores aos do cultivo SPBH. Ao meio-dia e nas plantas com

PBH os valores foram de 400 a 330,75  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (12 h e 13 h, seguidamente) superiores aos valores encontrados nas plantas que foram cultivadas no sistema de condução SPBH. Isto é, em comparação as plantas do sistema SPBH nas plantas manejadas no sistema PBH no horário da manhã a RFAref Dd teve um aumento médio de 58,55% e ao meio-dia este valor foi de 74,09%.

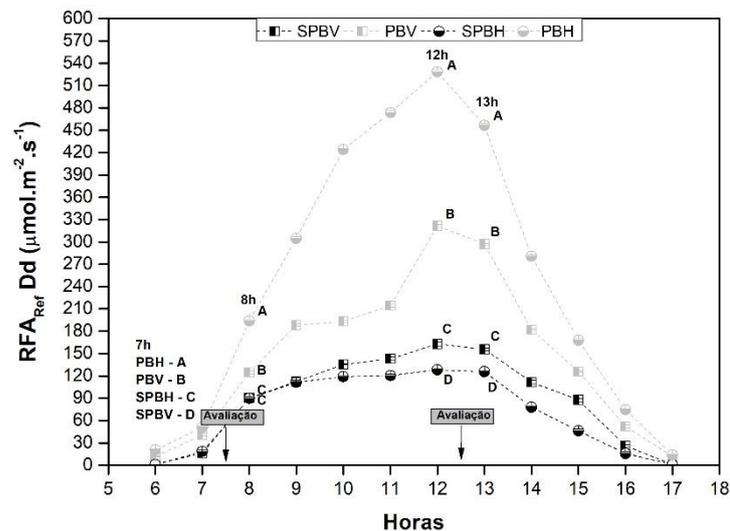


Figura 15: Radiação fotossinteticamente ativa refletida dentro do dossel (RFAref Dd) em relação às horas (80° DAT). Sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); seta preta indica os horários distintos das avaliações; cada ponto representa média de 5 repetições cada tratamento; as barras indicam o erro padrão; letras iguais seguidas dos tratamentos não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Na Tabela 3 a variável  $E$  teve uma diferença significativa entre os sistemas apenas na parte da manhã. Neste horário as plantas no sistema com PBV tiveram valores de  $E$  superiores ( $3,66 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) quando associadas aos outros manejos estudados. Em relação às avaliações na parte da manhã as plantas manejadas no sistema SPBV apresentaram diferença significativa de  $E$  em mais de 20% de aumento quando comparadas as avaliações ao meio-dia.

Os maiores valores de  $E$  nos sistemas estudados nesta pesquisa mostra que as plantas com PBV destacaram-se no horário da manhã com valores de  $3,66 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e ao meio-dia com valores de  $3,73 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Na parte da manhã os valores inferiores de  $E$  foram observados nas plantas cultivadas SPBH ( $2,64 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Já ao meio-dia o valor nas plantas SPBV foi de  $3,17 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Quando as plantas foram comparadas no horário da manhã ao meio-dia

somente as plantas SPBH mostraram uma diferença significativa com valores de  $0,72 \text{ mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Entre sistemas e entre horários  $g_s$  foi a única variável que teve resultado significativo. Entre os sistemas de condução as plantas que apresentaram valores superiores de  $g_s$  foram as plantas no cultivo com PBV (manhã =  $0,58 \text{ mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e meio-dia =  $0,80 \text{ mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e os valores desta variável foram inferiores nas plantas cultivadas SPBV (manhã =  $0,35 \text{ mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e meio-dia =  $0,58 \text{ mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ).

Ao analisar o efeito do PB em  $g_s$  nas plantas quando comparados aos manejos com um solo exposto (SPBV e SPBH), os sistemas com PBV e PBH possibilitaram valores maiores e significativos. Na parte da manhã e ao meio-dia quando comparado ao sistema SPBV, o sistema com PBV proporcionou nas folhas uma média de  $0,23 \text{ mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  superior.

Tabela 3: Trocas gasosas foliares.

Variáveis		SPBV	PBV	SPBH	PBH
<b><i>A</i><sub>1500</sub></b> ( $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	<b>M</b>	20,91 $\pm$ 0,4Aa	23,97 $\pm$ 1,7Aa	17,91 $\pm$ 2,0Aa	20,66 $\pm$ 1,8Aa
	<b>MD</b>	21,27 $\pm$ 1,4Aa	25,17 $\pm$ 1,0Aa	20,70 $\pm$ 1,5Aa	21,88 $\pm$ 1,9Aa
<b><i>g</i><sub>s</sub></b> ( $\text{mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	<b>M</b>	0,35 $\pm$ 0,0Bb	0,58 $\pm$ 0,1Ab	0,30 $\pm$ 0,0Bb	0,44 $\pm$ 0,1ABb
	<b>MD</b>	0,58 $\pm$ 0,0Ba	0,80 $\pm$ 0,0Aa	0,68 $\pm$ 0,1 ABa	0,78 $\pm$ 0,0 ABa
<b><i>E</i></b> ( $\text{mmol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	<b>M</b>	2,95 $\pm$ 0,0ABa	3,66 $\pm$ 0,0Aa	2,64 $\pm$ 0,4 Bb	3,23 $\pm$ 0,2 ABa
	<b>MD</b>	3,17 $\pm$ 0,1Aa	3,73 $\pm$ 0,2 Aa	3,36 $\pm$ 0,12 Aa	3,71 $\pm$ 0,1 Aa
<b><i>C</i><sub>i</sub></b> ( $\mu\text{mol.mol}^{-1}$ )	<b>M</b>	243,69 $\pm$ 5,1Aa	257,30 $\pm$ 6,4Aa	247,50 $\pm$ 2,4Aa	260,26 $\pm$ 5,9Aa
	<b>MD</b>	258,04 $\pm$ 12,8Aa	258,01 $\pm$ 15,6Aa	266,49 $\pm$ 18,5Aa	261,99 $\pm$ 16,8Aa

Manhã (M), meio-dia (MD), taxa fotossintética líquida (*A*<sub>1500</sub>), condutância estomática (*g*<sub>s</sub>), transpiração (*E*) e concentração de CO<sub>2</sub> no mesofilo foliar (*C*<sub>i</sub>); dois horários distintos no 81º DAT (manhã e meio-dia); sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); cada valor indica média  $\pm$  erro padrão (n=5); médias entre tratamentos (lê-se por coluna) são indicadas por letras maiúsculas; médias entre horários (lê-se por linha) são indicadas por letras minúsculas; médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey (p < 0,05)

Na Tabela 4 a razão *C*<sub>i</sub>/*C*<sub>a</sub> apresentou valores superiores alcançados na parte da manhã no sistema com PBV (0,74) e ao meio-dia nas plantas cultivadas com PBH (0,82). Nas plantas avaliadas no horário da manhã (0,68) e ao meio-dia (0,78) apenas as plantas do sistema SPBV foram as que tiveram menor razão *C*<sub>i</sub>/*C*<sub>a</sub>.

Somente no horário da manhã, período que apresentou diferença significativa entre os sistemas, a cobertura do solo com PB foi o fator determinante na condução vertical (PBV). Logo, uma relação de  $C_i/C_a$  mais elevada mostrou uma alteração de 0,06 a mais quando se comparada com SPBV. Ao observar a eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$  ou  $EUA_i$ ) na parte da manhã, o sistema SPBH promoveu nas plantas um valor superior  $62,74 \mu\text{mol CO}_2.\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$  quando comparado com PBV ( $45,81 \mu\text{mol CO}_2.\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$ ). Entre os horários houve um aumento nos valores desta variável no horário de menor RFA (período da manhã) na ordem de  $32,18 \mu\text{mol CO}_2.\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$  nas plantas SPBH, de  $24,06 \mu\text{mol CO}_2.\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$  nas SPBV e de  $22,12 \mu\text{mol CO}_2.\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$  nas PBH.

Tabela 4: Eficiências fotossintéticas pelas trocas gasosas foliares.

Variáveis		SPBV	PBV	SPBH	PBH
<b><math>C_i/C_a</math></b>	<b>M</b>	0,68 ±0,0 <b>Bb</b>	0,74 ±0,0 <b>Ab</b>	0,68 ±0,0 <b>Bb</b>	0,73 ±0,0 <b>ABb</b>
	<b>MD</b>	0,78 ±0,0 <b>Aa</b>	0,81 ±0,0 <b>Aa</b>	0,81 ±0,0 <b>Aa</b>	0,82 ±0,0 <b>Aa</b>
<b><math>A/g_s</math></b> ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$ )	<b>M</b>	60,86±2,7 <b>ABa</b>	45,81±8,2 <b>Ba</b>	62,74±4,2 <b>Aa</b>	50,83±5,4 <b>ABa</b>
	<b>MD</b>	36,80 ±2,3 <b>Ab</b>	31,78 ±1,9 <b>Aa</b>	30,56 ±1,3 <b>Ab</b>	28,71 ±2,8 <b>Ab</b>
<b><math>A/E</math></b> ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$ )	<b>M</b>	7,11 ±0,2 <b>Aa</b>	6,51 ±0,4 <b>Aa</b>	6,79 ±0,1 <b>Aa</b>	6,39 ±0,2 <b>Aa</b>
	<b>MD</b>	6,70 ±0,4 <b>Aa</b>	6,79 ±0,3 <b>Aa</b>	6,13 ±0,3 <b>Aa</b>	5,90 ±0,5 <b>Aa</b>
<b><math>A/C_i</math></b> ( $\mu\text{mol CO}_2.\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	<b>M</b>	0,09 ±0,0 <b>Aa</b>	0,09 ±0,0 <b>Aa</b>	0,07 ±0,0 <b>Aa</b>	0,08 ±0,0 <b>Aa</b>
	<b>MD</b>	0,08 ±0,0 <b>Aa</b>	0,10 ±0,0 <b>Aa</b>	0,08 ±0,0 <b>Aa</b>	0,08 ±0,0 <b>Aa</b>

Manhã (M), meio-dia (MD), relação entre a concentração de  $\text{CO}_2$  no mesofilo foliar e a concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico ( $C_i/C_a$ ), eficiência intrínseca do uso da água ( $A/g_s$ ), eficiência instantânea do uso da água ( $A/E$ ) e eficiência carboxilativa ( $A/C_i$ ); dois horários distintos no 81º DAT (manhã e meio-dia); sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); cada valor indica média ± erro padrão (n=5); médias entre tratamentos (lê-se por coluna) são indicadas por letras maiúsculas; médias entre horários (lê-se por linha) são indicadas por letras minúsculas; médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

As respostas obtidas pelas variáveis da emissão da fluorescência da clorofila não modulada (FC, Tabela 5) mostram que o tipo de condução foi determinante.

Para a variável  $F_o$  foi observada uma alteração significativa apenas entre os horários na condução vertical (SPBV e PBV). A partir do horário da manhã para o meio-dia as plantas SPBV apresentaram variações maiores nos valores de  $F_o$  (uma diferença de 1.098), em seguida a maior diferença de oscilação foi observada nas plantas com PBV (diferença de 654).

Ao meio-dia os valores significativos de  $PI_{Abs}$  foram encontrados na ordem dos sistemas  $PBH = 7,20 < SPBH = 6,25 < PBV = 3,94 < SPBV = 3,64$ . Assim, os sistemas com conduções horizontais proporcionaram maior  $PI_{Abs}$  e quando comparado às plantas no mesmo sistema de condução o uso de PB promoveu um aumento desta variável. Os cultivos com  $PBV = 8,46$  e  $SPBV = 8,25$  na parte da manhã mostraram pelas plantas um melhor desempenho fotoquímico. No entanto, no período de maior RFA os sistemas  $PBV$  e  $SPBV$  permitiram um declínio mais de 50% da variável ( $PBV = 3,94$  e  $SPBV = 3,64$ ). Sobre a cobertura do solo, no horário da manhã  $PBV$  teve valor de  $PI_{Abs}$  em 8,46 e com  $PBH$  ao meio-dia o valor foi de 7,20. Já as plantas sem o PB na parte da manhã apresentaram  $SPBH$  com  $PI_{Abs}$  inferior (6,99) e para  $SPBV$  ao meio-dia o valor foi de 3,64.

A variável  $ET/ABS$  ao meio-dia apresentou uma diferença estatística das plantas  $SPBV$  (0,40) e  $PBV$  (0,40) com as plantas dos sistemas horizontais que tiveram um maior valor nesta variável ( $SPBH = 0,47$  e  $PBH = 0,48$ ). Entre os horários as plantas manejadas com  $PBV$  e  $SPBV$  tiveram ao meio-dia (0,40) uma diferença em comparação aos valores da manhã (0,50) pois o valor foi reduzido a 25%.

Para  $ET/TR$  as plantas com  $PBV$  (0,49) e  $SPBV$  (0,51) em relação as plantas com  $PBH$  (0,59) e  $SPBH$  (0,57) apresentaram 8% de diferença. Entre os horários analisados na parte da manhã, as plantas com  $PBV$  e  $SPBV$  proporcionaram um valor igual a 0,60 e as plantas  $SPBH$  o valor foi de 0,61. Já ao meio-dia as plantas tiveram uma redução de 11% com  $PBV$  (0,49), de 9%  $SPBV$  (0,51) e de 3%  $SPBH$  (0,57).

Ao analisar  $DI_0/CS_0$ , apenas as plantas  $SPBV$  e no horário meio-dia mostraram alterações significativas quando este sistema foi associado às respostas das plantas manejadas em condução horizontal ( $SPBH = 876$  e  $PBH = 876$ ). As plantas cultivadas no  $SPBV$  ao meio-dia tiveram um valor de 1.182, no qual representa um aumento de 36,21% em relação ao horário da manhã no mesmo sistema. Em relação ao período do meio-dia (999) com a parte da manhã (761), as plantas com  $PBV$  tiveram uma menor diferença (23,82%) de  $DI_0/CS_0$ .

Tabela 5: Emissão da fluorescência da clorofila não modulada (FC).

Variáveis		SPBV	PBV	SPBH	PBH
F <sub>o</sub>	M	4339 ±66,5 <b>Ab</b>	4401 ±79,9 <b>Ab</b>	4617 ±56,8 <b>Aa</b>	4747 ±21,7 <b>Aa</b>
	MD	5437±406,7 <b>Aa</b>	5055 ±68,6 <b>Aa</b>	4714±125,00 <b>Aa</b>	4817±198,4 <b>Aa</b>
F <sub>m</sub>	M	24974 ±484,3 <b>Aa</b>	25509 ±790,4 <b>Aa</b>	25411 ±617,6 <b>Aa</b>	25912 ±779,3 <b>Aa</b>
	MD	26666 ±727,4 <b>Aa</b>	25510 ±1121,9 <b>Aa</b>	25707 ±715,3 <b>Aa</b>	25644 ±504,8 <b>Aa</b>
PI <sub>Abs</sub>	M	8,25 ±0,6 <b>Aa</b>	8,46 ±0,9 <b>Aa</b>	6,99 ±0,4 <b>Aa</b>	7,20 ±0,8 <b>Aa</b>
	MD	3,64 ±0,6 <b>Cb</b>	3,94 ±0,6 <b>BCb</b>	6,25 ±0,9 <b>ABa</b>	7,20 ±1,2 <b>Aa</b>
ET/ABS	M	0,50 ±0,0 <b>Aa</b>	0,50 ±0,0 <b>Aa</b>	0,50 ±0,0 <b>Aa</b>	0,49 ±0,0 <b>Aa</b>
	MD	0,40 ±0,0 <b>Bb</b>	0,40 ±0,0 <b>Bb</b>	0,47 ±0,0 <b>Aa</b>	0,48 ±0,0 <b>Aa</b>
ET/TR	M	0,60 ±0,0 <b>Aa</b>	0,60 ±0,0 <b>Aa</b>	0,61 ±0,0 <b>Aa</b>	0,60 ±0,0 <b>Aa</b>
	MD	0,51 ±0,0 <b>Bb</b>	0,49 ±0,0 <b>Bb</b>	0,57 ±0,0 <b>Ab</b>	0,59 ±0,0 <b>Aa</b>
RC/CS <sub>o</sub>	M	4841 ±108,9 <b>Aa</b>	4909±135,4 <b>Aa</b>	4504 ±208,8 <b>Aa</b>	4832±187,3 <b>Aa</b>
	MD	4600 ±138,0 <b>Aa</b>	4690±161,1 <b>Aa</b>	4650 ±74,9 <b>Aa</b>	4869 ±57,3 <b>Aa</b>
DI <sub>o</sub> /CS <sub>o</sub>	M	754 ±13,3 <b>Ab</b>	761 ±19,9 <b>Ab</b>	842 ±27,3 <b>Aa</b>	873 ±57,8 <b>Aa</b>
	MD	1182 ±170,9 <b>Aa</b>	999 ±39,3 <b>ABa</b>	876 ±30,1 <b>Ba</b>	876 ±61,9 <b>Ba</b>

Manhã (M), meio-dia (MD), fluorescência mínima (F<sub>o</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), índice de desempenho fotossintético (PI<sub>Abs</sub>), eficiência na qual 1 fóton absorvido resulta no transporte de e<sup>-</sup> além da Qa oxidada (ET/ABS), probabilidade de 1 e<sup>-</sup> se mover além da Qa oxidada (ET/TR), densidade dos centros de reação ativos capazes de reduzir a Qa oxidada concentração de centros de reação ativos (RC/CS<sub>o</sub>) e taxa de dissipação térmica de energia no PSII por seção transversal de uma folha excitada (DI<sub>o</sub>/CS<sub>o</sub>); dois horários distintos no 81º DAT (manhã e meio-dia); sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); cada valor indica média ± erro padrão (n=5); médias entre tratamentos (lê-se por coluna) são indicadas por letras maiúsculas; médias entre horários (lê-se por linha) são indicadas por letras minúsculas; médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey (p < 0,05)

Ao observar os dados da FCI no horário de maior RFA (meio-dia) e em todos os tratamentos as folhas avaliadas apresentaram uma variação significativa no valor de NPQ (Tabela 6 e Figura 16). Em condição de maior RFA (2,51) e em comparação aos demais manejos empregados, as plantas com PBH tiveram menor valor de NPQ. O sistema PBH e em relação ao meio-dia (2,51) foi o único que proporcionou uma diferença nos valores pela manhã (3,49) com redução de 28,08%.

Nas folhas das plantas ao analisar qP (Tabela 6 e Figura 17), somente ao meio-dia houve diferença significativa entre os sistemas. Neste período do dia entre todos os sistemas estudados, as plantas com PBH tiveram qP superior (0,56) e as plantas no SPBV tiveram valores inferiores (0,38). Na condição de maior exposição de RFA, as plantas que mostraram um aumento de qP foram as plantas cultivadas

em SPBV, PBH e SPBH, as quais tiveram um incremento sem significância de 23,68%, 21,43% e 17,02% em qP, respectivamente. Ao meio-dia em relação ao período da manhã e nas plantas SPBV, embora o aumento de qP tenha sido de 23,68%, as plantas tiveram os menores valores entre os demais manejos analisados.

Na Tabela 6 e Figura 18, no horário de maior RFA o manejo com PBH possibilitou uma maior ETR ( $137 \mu\text{mol e}^- \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) e SPBV teve menor valor ( $85 \mu\text{mol e}^- \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Nas plantas com PBH em relação às plantas SPBV a diferença no valor encontrado de ETR foi de  $52 \mu\text{mol e}^- \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Nos dois horários distintos estudados apenas as plantas com PBH mostraram alteração significativa. Nesta condição e em relação ao meio-dia a diferença foi superior em 23,36% ( $32 \mu\text{mol e}^- \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Para  $QY_{\text{máx}}$  (Tabela 6 e Figura 19), na parte da manhã os cultivos SPBH (0,838) e PBH (0,838) tiveram resultados superiores quando comparados com SPBV (0,820) e PBV (0,835). Contudo, ao meio-dia as plantas cultivadas em PBV foram as que apresentaram o maior valor (0,810). Ao observar os dados entre os diferentes horários estudados houve diferença significativa nos sistemas SPBH, PBH e PBV. Em relação ao meio-dia foi verificado um declínio em relação aos valores obtidos no período da manhã. Nas plantas com PBH esse declínio foi de 5,37%. Nas SPBH a redução foi de 3,94% e nas plantas em PBV o declínio foi de 2,99%.

Tabela 6: Emissão da fluorescência da clorofila modulada.

Variáveis		SPBV	PBV	SPBH	PBH
NPQ	M	3,75 ±0,4Aa	3,16 ±0,1Aa	3,46 ±0,1Aa	3,49 ±0,1Aa
	MD	3,16±0,1ABa	3,31 ±0,1Aa	3,57 ±0,2Aa	2,51 ±0,3Bb
qP	M	0,29 ±0,1Aa	0,43 ±0,0Aa	0,39 ±0,0Aa	0,44 ±0,0Aa
	MD	0,38 ±0,0Ba	0,42 ±0,0ABa	0,47 ±0,0ABa	0,56 ±0,0Aa
ETR ( $\mu\text{mol e}^- \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	M	98 ±11,6Aa	107 ±8,0Aa	100 ±4,9Aa	105 ±10,9Ab
	MD	85 ±2,1Ca	100 ±2,1BCa	118 ±8,4ABa	137±5,4Aa
QY <sub>máx</sub>	M	0,820 ±0,0Ba	0,835 ±0,0ABa	0,838 ±0,0Aa	0,838 ±0,0Aa
	MD	0,808 ±0,0ABa	0,810 ±0,0Ab	0,805 ±0,0ABb	0,793 ±0,0Bb

Manhã (M), meio-dia (MD), dissipação não fotoquímica (NPQ), dissipação fotoquímica (qP), taxa de transferência de  $e^-$  (ETR) e rendimento quântico máximo do PSII ( $QY_{\text{máx}}$ ); dois horários distintos (manhã e meio-dia); sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); cada valor indica média ± erro padrão (n=5); médias entre tratamentos (lê-se por coluna) são indicadas por letras maiúsculas; médias entre horários (lê-se por linha) são indicadas por letras minúsculas; médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

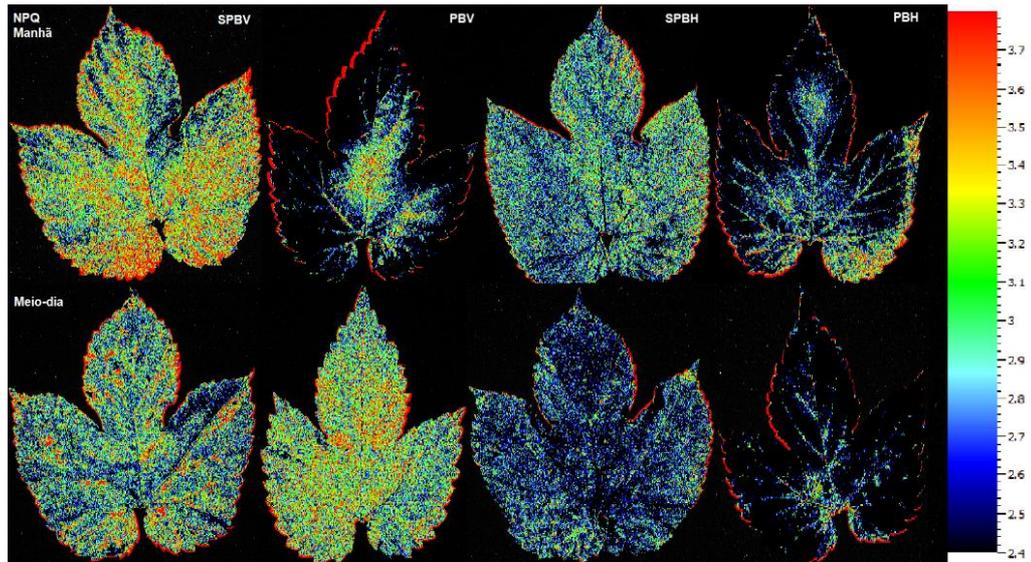


Figura 16: Dissipação não fotoquímica (NPQ). Dois horários distintos no 81° DAT (manhã e meio-dia); sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); escala de NPQ: 2,40 – 3,80

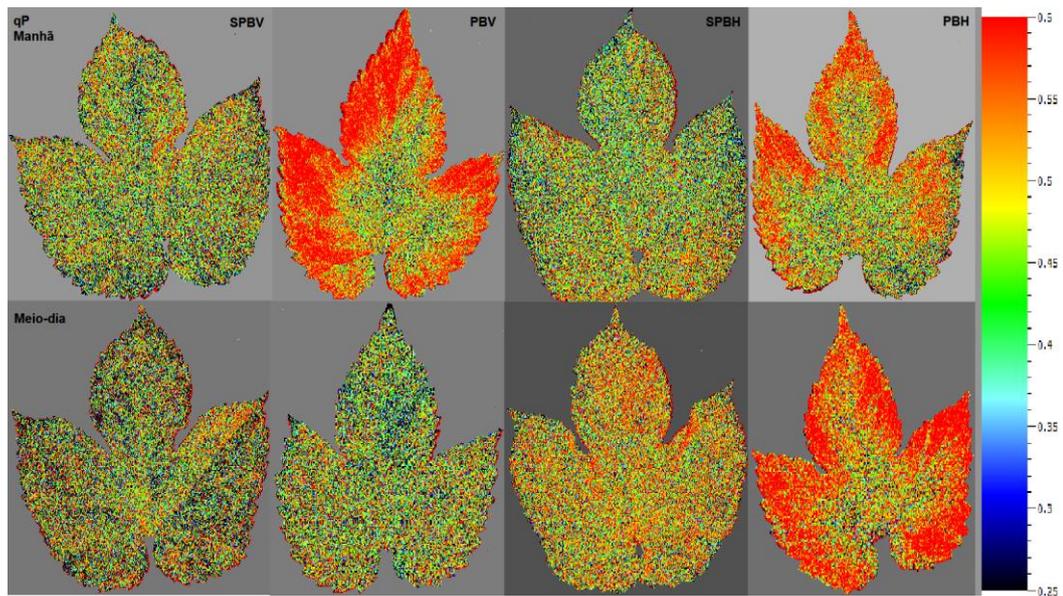


Figura 17: Dissipação fotoquímica (qP). Dois horários distintos no 81° DAT (manhã e meio-dia); sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PBna horizontal (PBH); escala de qP: 0,25 – 0,60

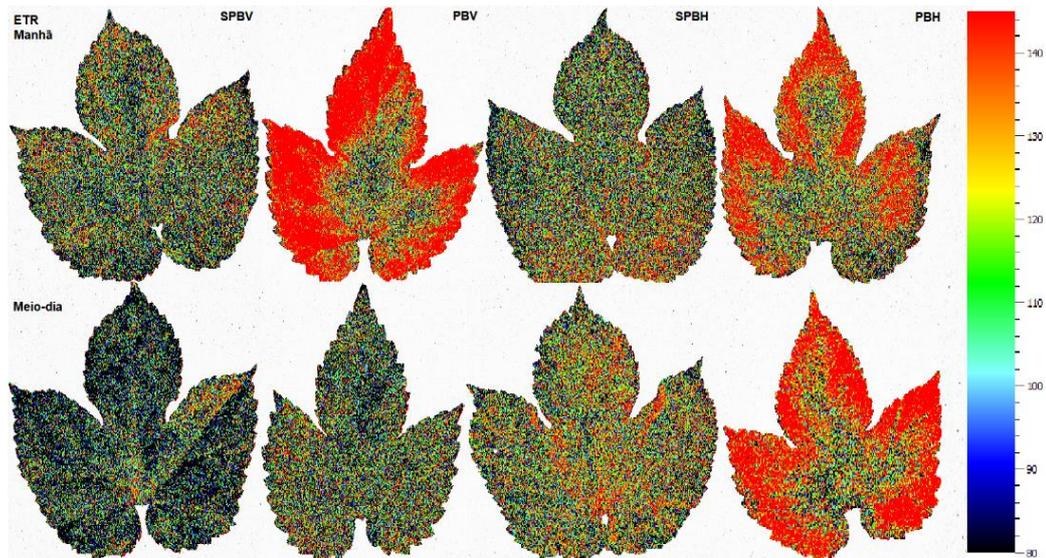


Figura 18: Taxa de transferência de  $e^-$  (ETR,  $\mu\text{mol } e^-\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Dois horários distintos no 81° DAT (manhã e meio-dia); sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); escala de ETR: 80,00 – 145,00  $\mu\text{mol } e^-\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

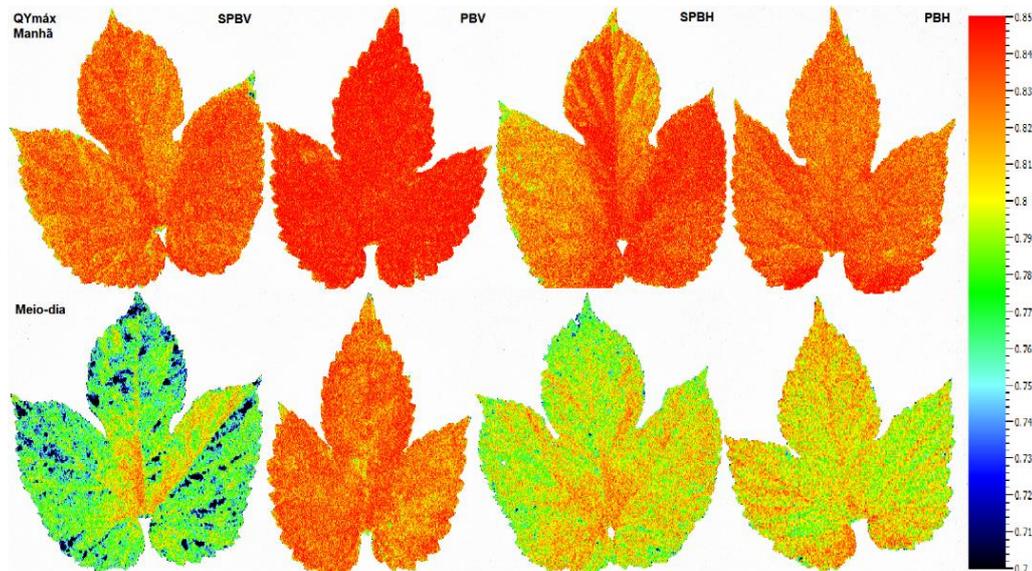


Figura 19: Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $QY_{\text{máx}}$ ). Dois horários distintos no 81° DAT (manhã e meio-dia); sem o plástico branco (PB) na vertical (SPBV), PB na vertical (PBV), sem PB na horizontal (SPBH) e PB na horizontal (PBH); escala de  $QY_{\text{máx}}$ : 0,70 – 0,85

Na Tabela 7 mostra que valores de PRI na parte da manhã quando comparadas as plantas com PBV (0,0424) e SPBV (0,0410) os maiores valores foram obtidos nas plantas cultivadas com PBH (0,0552) e SPBH (0,0562). Ao meio-dia e em relação ao sistema com PBV (0,0504), o sistema com PBH (0,0625) promoveu um aumento de 19,36% de PRI. Ao meio-dia em comparação com os valores obtidos pela manhã, as plantas com PBV tiveram um aumento de 0,8% e as plantas SPBV apresentaram incremento de 1,39% de PRI. Apenas no horário da manhã quando comparadas com as demais nos sistemas de cultivos estudados, os valores de CNDVI nas plantas com PBH (0,5771) foram superiores e este mesmo sistema foi o único que possibilitou uma diferença entre os horários em que o valor de CNDVI ao meio-dia teve uma redução de 2,79% em relação ao valor obtido pela manhã. Com relação a WBI, houve diferença significativa entre os horários e somente nas plantas sem PB (SPBV e SPBH). As plantas SPBV apresentaram WBI pela manhã de 0,8214 e ao meio-dia de 0,7471, correspondendo a um declínio de 9,04% entre a manhã e ao meio-dia. Já no sistema SPBH e pela manhã, as plantas tiveram um valor de WBI de 0,8144 e ao meio-dia houve um declínio de WBI de 7,04% (0,7571).

Tabela 7: Propriedade espectral por reflectância foliar.

<b>Variáveis</b>		<b>SPBV</b>	<b>PBV</b>	<b>SPBH</b>	<b>PBH</b>
<b>PRI</b>	<b>M</b>	0,041 ±0,0Bb	0,042 ±0,0Bb	0,056 ±0,0Aa	0,055 ±0,0Aa
	<b>MD</b>	0,055 ±0,0ABa	0,050 ±0,0Ba	0,056 ±0,0ABa	0,062 ±0,0Aa
<b>CNDVI</b>	<b>M</b>	0,518 ±0,0Ba	0,539 ±0,0Ba	0,541 ±0,0Ba	0,577 ±0,0Aa
	<b>MD</b>	0,526 ±0,0Aa	0,534 ±0,0Aa	0,516 ±0,0Aa	0,549 ±0,0Ab
<b>WBI</b>	<b>M</b>	0,821 ±0,0Aa	0,804 ±0,0Aa	0,814 ±0,0Aa	0,775 ±0,0Aa
	<b>MD</b>	0,747 ±0,0Ab	0,761 ±0,0Aa	0,757 ±0,0Ab	0,773 ±0,0Aa

Manhã (M), meio-dia (MD), índice de reflectância fotoquímica (PRI), índice de vegetação por diferença normalizada de clorofila (CNDVI) e índice de balaço de água (WBI). Dois horários distintos no 81º DAT (manhã e meio-dia). Sem o plástico branco na vertical (SPBV), plástico branco na vertical (PBV), sem o plástico branco na horizontal (SPBH) e plástico branco na horizontal (PBH). Cada valor indica média ± erro padrão (n=5). Médias entre tratamentos (lê-se por coluna) são indicadas por letras maiúsculas. Médias entre horários (lê-se por linha) são indicadas por letras minúsculas. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Na Tabela 8 as plantas cultivadas no sistema com PBH apresentaram 60% a mais de Nrp do que as plantas cultivadas no sistema SPBV.

Tabela 8: Medidas morfológicas finais.

Variáveis	SPBV	PBV	SPBH	PBH
<b>MFE</b> (g.m <sup>-2</sup> )	50,72 ±1,9A	53,11 ±0,6A	54,17 ±2,7A	53,44 ±2,3A
<b>% Cinzas</b>	26,67 ±1,5A	29,59 ±0,9A	26,62 ±1,7A	28,01 ±1,9A
<b>Nrp</b>	4 ±0,5C	6 ±0,7BC	7 ±0,6B	10 ±0,3A
<b>Nrl</b>	0 ±0,0A	7 ±4,0A	2 ±1,0A	4 ±1,5A
<b>NFrp</b>	131 ±23,2A	130 ±21,8A	160 ±20,1A	199 ±14,8A
<b>NFrl</b>	0 ±0,0A	55 ±29,8A	29 ±14,8A	37 ±15,3A
<b>CME</b> (mm)	105,6 ±0,4A	144,3 ±1,6A	118,6 ±0,8A	123,6 ±0,5A

Massa foliar específica (MFE), teor de cinzas (%cinzas), número de ramos principais (Nrp), número de ramos laterais (Nrl), número de folhas dos ramos principais (NFrp), número de folhas dos ramos laterais (NFrl) e comprimento médio do entrenó (CME). Sem o plástico branco na vertical (SPBV), plástico branco na vertical (PBV), sem o plástico branco na horizontal (SPBH) e plástico branco na horizontal (PBH). Cada valor indica média ± erro padrão (n=5). Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Na Tabela 9 tanto a mudança de condução quanto adicionar PB sobre o solo promoveu o incremento de AFrp. Aos demais sistemas estudados, as plantas com PBH tiveram maior AFrp (2.703 mm<sup>2</sup>) quando comparado ao SPBV (1.268 mm<sup>2</sup>), um valor de 113,17% maior. Em relação aos demais sistemas e principalmente em relação às plantas sem PB (SPBV = 9,87 g e SPBH = 8,59 g), as plantas com PBV apresentaram uma maior MSrp (29,86 g). Assim, AFrp e MSrp apresentaram significância nos sistemas PBV e PBH comparáveis às plantas em solo exposto.

Tabela 9: Medidas de área foliar e massa seca.

Variáveis	SPBV	PBV	SPBH	PBH
<b>AFrp</b> (mm <sup>2</sup> )	1268 ±51,0B	2277±228,7AB	1559±164,3AB	2703±483,2A
<b>AFrl</b> (mm <sup>2</sup> )	0 ±0,0A	548 ±188,1A	278 ±164,8A	319 ±159,2A
<b>MSrp</b> (g)	9,87 ±1,3B	29,86 ±5,9A	8,59 ±3,2B	14,88 ±4,1AB
<b>MSrl</b> (g)	0 ±0,0A	1,96 ±0,8A	1,04 ±0,6A	5,37 ±2,9A
<b>MSFrp</b> (g)	14,98 ±2,1A	33,92 ±6,5A	18,50 ±3,0A	30,94 ±4,3A
<b>MSFrl</b> (g)	0 ±0,0A	5,25 ±3,5A	2,83 ±1,6A	3,52 ±1,7A
<b>MSt</b> (g)	28,45 ±3,5A	75,41 ±15,8A	34,43 ±8,1A	57,97 ±7,5A

Área foliar dos ramos principais (AFrp), área foliar dos ramos laterais (AFrl), massa seca dos ramos principais (MSrp), massa seca dos ramos laterais (MSrl), massa seca das folhas dos ramos principais (MSFrp), massa seca das folhas dos ramos laterais (MSFrl) e massa seca total (MSt). Sem o plástico branco na vertical (SPBV), plástico branco na vertical (PBV), sem o plástico branco na horizontal (SPBH) e plástico branco na horizontal (PBH). Cada valor indica média ± erro padrão (n=5). Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Na Tabela 10 a %FF foi superior em plantas conduzidas na horizontal com 62,81% no sistema SPBH e 58,30% com PBH. As plantas SPBH tiveram 24,78% de %FCa. Nas variáveis MFC e MSCo, os tratamentos com PB promoveram 24,23% (PBV) e 27,22% (PBH) superior aos tratamentos com o solo exposto (SPBV e SPBH). A Pe do sistema PBV (393,33 kg.ha<sup>-1</sup>) apresentou um valor superior de 24,23% em relação ao SPBV, 43,52% ao PBH e 58,89% comparado ao SPBH.

Tabela 10: Teor de fotoassimilados, medidas dos cones e produtividade estimada.

<b>Variáveis</b>	<b>SPBV</b>	<b>PBV</b>	<b>SPBH</b>	<b>PBH</b>
<b>%FF</b>	52,02 ±1,5 <b>B</b>	51,11 ±2,9 <b>B</b>	62,81 ±3,1 <b>A</b>	58,30 ±2,4 <b>AB</b>
<b>%FCa</b>	34,53 ±0,3 <b>A</b>	41,35 ±2,8 <b>A</b>	24,78 ±3,8 <b>B</b>	35,16 ±1,4 <b>A</b>
<b>%FCo</b>	13,45 ±1,8 <b>A</b>	7,55 ±1,9 <b>A</b>	12,41 ±2,3 <b>A</b>	6,54 ±1,5 <b>A</b>
<b>CMC</b> (mm)	25,71 ±2,1 <b>A</b>	31,61 ±4,8 <b>A</b>	24,85 ±0,6 <b>A</b>	23,39 ±0,5 <b>A</b>
<b>DMC</b> (mm)	17,34 ±1,5 <b>A</b>	17,34 ±0,4 <b>A</b>	16,08 ±0,3 <b>A</b>	16,58 ±0,2 <b>A</b>
<b>MFC</b> (g.planta <sup>-1</sup> )	745,80 ±2,1 <b>B</b>	984,30 ±4,8 <b>A</b>	673,65 ±0,6 <b>B</b>	925,65 ±0,5 <b>A</b>
<b>MSCo</b> (g.planta <sup>-1</sup> )	89,50 ±0,3 <b>B</b>	118,12 ±0,7 <b>A</b>	80,84 ±0,1 <b>B</b>	111,08 ±0,1 <b>A</b>
<b>Pe</b> (kg.ha <sup>-1</sup> )	298,02 ±0,1 <b>B</b>	393,33 ±0,1 <b>A</b>	161,68 ±0,1 <b>D</b>	222,16 ±0,1 <b>C</b>

Teor de fotoassimilados nas folhas (%FF), teor de fotoassimilados nos caules (%FCa), teor de fotoassimilados nos cones (%FCo), comprimento médio do cone (CMC), diâmetro médio do cone (DMC), massa fresca do cone (MFC), massa seca do cone (MSC) e produtividade estimada (Pe). Sem o plástico branco na vertical (SPBV), plástico branco na vertical (PBV), sem o plástico branco na horizontal (SPBH) e plástico branco na horizontal (PBH). Cada valor indica média ± erro padrão (n=5). Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

## DISCUSSÃO

A agricultura é um dos setores em que a radiação solar é muito utilizada pois está diretamente ligada aos processos morfofisiológicos das culturas (Gürel et al., 2023) e a arquitetura do dossel das plantas é um dos fatores que influencia na interceptação e absorção da radiação solar para o ciclo do carbono (Brahieri et al., 2019). A aplicabilidade de novas técnicas de manejo capacitando novas áreas de cultivo para a espécie *H. lupulus* L., antes vista como improdutiva em tais regiões, foram de fundamental importância para a quebra de paradigmas os quais ficaram estabelecidos ao passar dos anos pela impossibilidade do plantio fora das latitudes 35° a 55° Norte e Sul em relação a linha do Equador.

Geralmente na utilização do PM de dupla face branco/preto, a face branca fica posicionada para cima (maior refletividade) e a outra face do plástico de cor preta fica voltada para baixo (menor refletividade). Neste trabalho, o estudo foi feito com o objetivo de obter um melhor aproveitamento de RFA. Assim, as avaliações ecofisiológicas foram relacionadas ao uso de PM na face branca virada para cima (definido nesta dissertação como PB). Com isto, o uso de sistemas de cultivo diferenciados do modelo convencional causou efeitos na morfofisiologia das plantas de lúpulo, as quais foram capazes de estimular mecanismos de adaptação da espécie tornando-a apta para a região em estudo.

O impacto no aumento do CRP e do CNC pelo uso de cobertura sintética sobre o solo foi estudado em trabalhos de Ruíz-Machuca et al. (2015) na batata (*Solanum tuberosum* L.), de Helaly et al. (2017) no tomate (*Physalis pubescens* L.), de Gao et al. (2019) no trigo (*Triticum aestivum* L.) e de Coelho et al. (2022) no mamoeiro (*Carica papaya* L.). Portanto, este presente trabalho é pioneiro em estudar o uso do PM na cultura do lúpulo e especificamente o uso de PB refletivo com finalidade ecofisiológica.

O PM está presente em muitas culturas agrícolas com distintas finalidades e cores que pode influenciar diretamente na fisiologia das plantas, uma vez que o uso desta estratégia de manejo pode otimizar a absorção e refletividade da RFA emitida por este tipo de cobertura plástica sobre o solo (Amare & Desta, 2021). Helaly et al. (2017) analisando a espécie *Physalis pubescens* L. observaram valores superiores não somente nas variáveis morfológicas, mas também no teor de clorofila das folhas

quando os solos eram cobertos com PB em comparação a solos com PM de cor preta e solos totalmente expostos. As clorofilas presentes nos cloroplastos exercem uma importância fundamental na fotossíntese em razão de serem os pigmentos centrais que absorvem a RFA e convertem esta energia em energia química (Agathokleous et al., 2020; Khan et al., 2020).

A senescência foliar normalmente ocorre no estágio reprodutivo em que a clorofila *a* é catalisada pela clorofilase e transformada em clorofilida-*a* ou feofitina (Khan et al., 2020). Assim, nas espécies vegetais e em resposta a algum tipo de estresse as moléculas de clorofila são componentes da rede de sinalização (Agathokleous et al., 2020). Desta maneira, as mudanças climáticas podem impulsionar o desenvolvimento de cultivares tolerantes/resistentes aos estresses abióticos, principalmente associadas às temperaturas supra ótimas (consequência de elevada RFA) e a senescência foliar tardia torna-se um critério para caracterizar a adaptabilidade destas cultivares (Chaudhary et al., 2020).

Nas plantas de lúpulo da cultivar ‘Yakima Gold’, os três manejos propostos diferentes do convencional (PBV, SPBH e PBH) promoveram nas plantas valores superiores de índice SPAD e proporcionaram uma menor degradação das moléculas de clorofilas totais (*Stay Green*) quando comparados ao sistema SPBV. Em plantas de amendoim (*Arachis hypogaea*) e em bananeira ‘BRS Platina’ quando comparado com as plantas cultivadas em solo exposto (solo descoberto), o teor de clorofilas totais também foi maior nas plantas sob um solo com PM (Sol et al., 2018; Costa et al., 2022).

Em tese o PB direciona mais RFA para o dossel das plantas, isto é, maior comprimento de onda de RFA sendo refletido para a parte aérea das plantas, como consequência o PB reduz a entrada de RFA diretamente no solo diminuindo a flutuação de temperatura do solo e mantendo a umidade do solo constante (Helaly et al., 2017). Efetivamente, este microclima gerado embaixo do PB pode facilitar a ação microbiota presente e promover o livre acesso ao oxigênio e a disponibilidade hídrica para as raízes. Portanto, nestas condições abaixo e primariamente acima do PB o incremento de CRP, CNC e SPAD podem ser justificáveis. Todavia, o uso dos mesmos sistemas de cultivo precisa ser estudado em sazonalidade diferente da utilizada nesta pesquisa pois serão necessários para uma melhor classificação da cultivar ‘Yakima Gold’ como adequada ao cultivo na região de Campos dos Goytacazes, RJ (clima tropical, semiárido e de baixa altitude).

Na literatura e para as regiões de clima temperado, o ciclo de crescimento e produção da espécie em estudo ocorre nas estações primavera/verão (Bauerle, 2021; Jastrombek et al., 2022) devido ao fotoperíodo e a temperatura do ar (Bauerle, 2019). No inverno e para áreas produtoras há limitação do crescimento da planta e dependendo da temperatura infra ótima a planta é estimulada ao processo de hibernação (dormência) (Rossini et al., 2021). No período sazonal deste presente experimento (outono/inverno) e em todos os sistemas de cultivo utilizados, 4 dias a partir da abertura do limbo foliar da folha muito jovem foram necessários para que as folhas estudadas tivessem a maior taxa de crescimento e o maior incremento nos valores do índice SPAD.

Após este período o efeito dos tratamentos nas folhas localizadas entre 0,50 m e 2 m de altura foi mostrado por meio da diferença significativa. Nesta faixa do dossel as folhas de lúpulo em sistemas com PBV, SPBH e PBH tiveram os valores superiores quando comparadas com as folhas das plantas cultivadas no sistema SPBV, especialmente com a utilização do PB. Sendo assim, as plantas de lúpulo nas condições propostas deste estudo apresentaram mecanismos morfofisiológicos para a adaptabilidade na região de estudo. Vale apenas ressaltar que além da ação do PB, o qual promoveu maior RFAref DD (Figura 15, variável a ser discutida) disponível para o dossel das plantas, a temperatura do ar e a do solo podem ter oferecido condições mais propensas para um bom crescimento e desenvolvimento na sazonalidade estudada em clima tropical, semiárido e de baixa altitude diferentemente de regiões produtoras de climas temperado e subtropical para a cultivar 'Yakima Gold'.

Bauerle (2021b) relatou que uma folha de lúpulo localizada no terço médio do dossel apresentou em torno de 45 dias a partir da completa expansão até o período de colheita. Nesta presente pesquisa em todos os sistemas de condução estudados até o momento da colheita dos cones (120º DAT) foram cerca de 40 dias após a total expansão foliar. Assim, neste local do estado do RJ, as folhas localizadas no dossel entre 0,50 e 2 m tiveram uma taxa de expansão semelhante às áreas já produtoras (região temperada, de altitude elevada e que crescem na primavera/verão).

No sistema com PBV ao longo do dia mostrou que as intensidades de RFAinc Fd (Figura 13) e RFAinc Dd (Figura 14) foram superiores. Logo, sabendo que as folhas em posições mais elevadas no dossel recebem mais radiação do que

as folhas localizadas nas camadas mais inferiores (Brahier et al., 2019). Neste trabalho, a folha no sistema SPBV estava abaixo de 1 m e a cultivada com PBV encontrava-se entre 1 m e 1,50 m. Portanto, a folha marcada no sistema com PBV recebeu mais RFAinc Fd e RFA inc Dd devido à altura em que estava presente no dia da medição (80° DAT).

As respostas de RFAref Dd (Figura 15) corroboram com a informação que a utilização de *mulchings* refletivos permitem uma maior intensidade da RFA sobre as folhas das camadas inferiores do dossel tornando os fótons desta faixa do espectro mais disponíveis para otimização da maquinaria fotossintética, o que pode elevar as trocas gasosas (Iglesias & Alegre, 2009) e a idade e a posição da folha no dossel impactam nos valores das trocas gasosas do lúpulo (Bauerle, 2021b).

Como é desconhecida as características ecofisiológicas do lúpulo em condições tropicais, semiáridas e de baixa altitude, identificar a ecofisiologia da planta nesta circunstância regional foi de fundamental importância. Assim, pode-se observar que em todos os sistemas de cultivo aplicados nas plantas de lúpulo promoveram maiores valores de  $g_s$  em uma condição de maior RFA (meio-dia). Este dado fisiológico ( $g_s$ ) pode configurar uma região tropical, semiárida e de baixa altitude como apta para o cultivo do lúpulo, cultivar 'Yakima Gold', independentemente do sistema de cultivo utilizado em razão da abertura estomática a qual forneceu uma boa *performance* para a entrada RFA disponível e captura de CO<sub>2</sub> ( $A_{1500}$ ) e a saída de H<sub>2</sub>O ( $E$ , variável a ser discutida). De acordo com Kenny (2005), um estudo feito no Vale do Yakima em folhas de lúpulo, cultivar 'Galena', expostas a RFA direta mostrou que valores de  $g_s$  mensurados nas faixas de 1 e 2 m foram de 0,64 e 0,72 mol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, respectivamente. Desta cultivar, o maior valor de  $g_s$  (0,88 mol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) foi observado em folhas localizadas a 4 m (Kenny, 2005). Neste presente trabalho, os valores de  $g_s$  na cultivar 'Yakima Gold' oscilaram de manhã com 0,58 mol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> e ao meio-dia com 0,80 mol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> na faixa do dossel de 0,50 a 2 m nas plantas com PBV (maiores valores).

As variáveis  $C_i/C_a$  e  $A/g_s$  são variáveis adicionais e relacionadas às limitações estomáticas. Deste modo, os dados obtidos e apresentados nesta pesquisa são essenciais pois estas variáveis são indicadoras da resposta estomática mediante aos estresses abióticos. Eventualmente, o aumento de  $A/g_s$  pode estar relacionado a uma limitação de água pela planta e nesta condição os valores de  $g_s$  e  $C_i/C_a$  diminuem, em seguida  $A$  também é reduzido. Estas variáveis são utilizadas

como indicadores de estresse hídrico na planta (Talbi et al., 2020). Contudo, neste presente experimento as plantas da cultivar 'Yakima Gold' nos diferentes sistema de condução não apresentaram estresse hídrico.

Por certo, o uso de uma cobertura no solo torna-se mais importante do que modificar o sistema de condução da planta em região tropical, semiárida e de baixa altitude pois mesmo as plantas de lúpulo cultivadas SPBH com o aumento de  $g_s$ ,  $C_i/C_a$  e  $E$  no período de maior intensidade da RFA tiveram valores mínimos comparáveis aos demais sistemas de condução empregados. Assim ao analisar as plantas de lúpulo com valores reduzidos de  $g_s$  provavelmente estas plantas tiveram maior sensibilidade ao fechamento estomático foliar por ter uma menor exposição de RFAref Dd (Figura 15), o que resultou em valores inferiores de  $A_{1500}$  e de  $E$  (Tabela 3). Os valores de  $g_s$  e  $E$  encontrados neste experimento com a cultivar 'Yakima Gold' são validados pelas informações relatadas por Eriksen et al. (2020) as quais citam que folhas de lúpulo totalmente expostas à RFA apresentam os valores de  $g_s$  variando entre 0,20 a 0,50 mol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> e  $E$  variando de 0,40 a 0,70 mmol H<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

As plantas quando estão expostas a uma RFA supra ótima são capazes de absorver e dissipar energia em várias formas (Wong et al., 2020). Assim, a absorção em excesso pode promover a formação de radicais livres (Taiz et al., 2017; Kobori et al., 2022) e a dissipação se eleva na forma de calor e/ou de fluorescência (Kobori et al., 2022). A FC é uma das técnicas de medição nas plantas mais utilizadas pois é um método rápido, simples, não destrutivo e pode ser utilizada para avaliar um conjunto de informações relacionadas às reações fotoquímicas do PSII (energia absorvida, o movimento de e<sup>-</sup> capaz de reduzir Q<sub>A</sub> e a dissipação de energia de moléculas excitadas no complexo antena) (Bussotti et al., 2020; Stefanov et al., 2022).

As plantas do sistema SPBV tiveram valores de F<sub>o</sub> obtida por meio do fluorímetro não modulado (FC) maior que as cultivadas com PBV sendo constatados com os dados relatados por Eriksen et al. (2020). Deste modo, o aumento de RFA nas plantas de lúpulo SPBV pode ter iniciado uma inativação da reversibilidade do PSII e afetado negativamente o complexo coletor de luz do PSII (CCLII). Por outro lado, durante a manhã e ao meio-dia as plantas na condução horizontal (SPBH e PBH) mantiveram os valores de F<sub>o</sub> semelhantes. Para Banks (2017), F<sub>o</sub> é o estado de emissão de fluorescência que ocorre o fluxo mínimo de absorção de RFA quando

todos os primeiros aceitadores de  $Q_A$  encontram-se abertos ou oxidados e que a fotorredução de  $Q_A$  é a principal resposta da mudança no rendimento de  $F_o$  para  $F_m$ . O aumento drástico de  $F_o$  pode ser proveniente de estresses abióticos, por exemplo as temperaturas supra ótimas que desencadeiam um aumento da fluidez da camada lipídica das membranas dos tilacoides, em sequência ocorre o desacoplamento do CCLII (Mathur et al., 2014; Souza et al., 2022).

A partir das informações neste estudo e com relação a  $F_o$  independente dos horários analisados, os sistemas de cultivo em condução horizontal promoveram nas plantas de lúpulo um fluxo mínimo de absorção de RFA mantendo uma constante fluidez das membranas tilacoidais (Tabela 5). Usualmente, plantas em condição não estressantes conferem valores de referência de  $QY_{máx}$  entre 0,75 e 0,85 (Goltsev et al., 2016). Nesta pesquisa (Tabela 6 e Figura 19), o período de maior RFA (meio-dia, maior temperatura do dia) nas plantas de lúpulo cultivadas em todos os sistemas de condução estudados apresentaram uma redução de  $QY_{máx}$  sem causar nenhum comprometimento no PSII do aparelho fotossintético pois mantiveram os valores de  $QY_{máx}$  acima de 0,75.

Ainda, independente do horário estudado a RFA elevada disponível para cada tratamento pode ter sido o fator que promoveu a redução da eficiência da energia capturada para a etapa fotoquímica primária, como consequência aumentou  $Dl_o/CS_o$  e NPQ (variáveis a serem discutidas) para outros sistemas. O aumento da dissipação de energia em forma de calor para outros sistemas implica na conversão dos centros de reação ativos do PSII para centros de dissipação de calor (Chen et al., 2016). Em contrapartida, o uso do PB mesmo possibilitando uma maior  $RFA_{ref}$  Dd nas plantas cultivadas no sistema PBH tiveram maior valor de  $QY_{máx}$  no horário da manhã e as com PBV tiveram maior valor ao meio-dia. Eriksen et al. (2020) citaram que plantas de lúpulo submetidas ao aumento de RFA (temperaturas de 24 a 39°C) não tiveram  $QY_{máx}$  afetado demonstrando assim que podem ser consideradas tolerantes ao aumento de RFA e consequentemente a elevação da temperatura.

Após uma dada exposição a RFA em intensidades adequadas e esta ser absorvida, a quantidade de energia que é movimentada nos tilacoides dos cloroplastos é o que delimita ETR. A quantificação de ETR pode ser relacionada com a capacidade de assimilação do  $CO_2$  (Taiz et al., 2017). Nesta pesquisa com o lúpulo 'Yakima Gold', as plantas cultivadas com PBH foram as únicas que

apresentaram diferença entre horários aumentando 23,36% de ETR da manhã para o meio-dia. Ao analisar o horário de meio-dia, especificamente o sistema com PBH possibilitou um valor superior de ETR enquanto as plantas manejadas SPBV tiveram o menor valor. Como a RFA está associada à temperatura, este fator abiótico entre 27 e 39°C para as espécies de metabolismo C3 são consideradas supra ótimas visto que neste tipo de metabolismo as plantas possuem uma adequada assimilação de CO<sub>2</sub> na faixa de 20 a 35°C, mas observando valores de ETR em algumas cultivares de lúpulo essa faixa de temperatura pode ser ampliada em mais 4°C (Eriksen et al., 2020). Em Campos dos Goytacazes, as máximas de temperatura encontradas no período de análise chegaram a aproximadamente 36°C e o melhor sistema que promoveu o aumento da quantidade de energia sendo movimentada na CTE nos cloroplastos foi com o sistema PBH.

Na Tabela 5 a ET/ABS mostrou que apenas no período de maior RFA (meio-dia) as plantas de lúpulo em sistemas verticais de condução tiveram diferença estatística. Assim, analisando as medidas em horários distintos as plantas na vertical (SPBV e PBV) apresentaram uma redução de ET/ABS ao meio-dia. Portanto, a eficiência no fluxo de e<sup>-</sup> absorvidos além de Q<sub>A</sub><sup>-</sup> foi determinado pelo tipo de condução pois independentemente da quantidade de RFA exposta, as plantas no cultivo horizontal apresentaram maior ET/ABS. O melhor resultado de ET/TR foi encontrado em plantas com PBH. Ao meio-dia, esta variável foi reduzida e as plantas na vertical tiveram uma menor performance de ET/TR que as conduzidas na horizontal. Portanto, as informações obtidas pelas variáveis ET/ABS e ET/TR nas plantas de lúpulo, cultivar 'Yakima Gold', são necessários cientificamente pois são dados ainda não encontrados em literaturas sobre lúpulo em regiões tropicais, semiáridas e de baixa altitude. Desta maneira, esta pesquisa torna-se possivelmente pioneira em estudos ecofisiológicos sobre a eficiência da maquinaria fotossintética da espécie e em especial sobre a eficiência da transferência de e<sup>-</sup> na CTE.

O processo transitório de transferência de e<sup>-</sup> pode ser parte importante do qP, o qual indica a proporção dos centros de reação abertos (Taiz et al., 2017). Neste presente estudo por meio dos valores de qP (Tabela 6) obtidos no período da manhã, as plantas cultivadas sem PB sobre o solo apresentaram valores inferiores de qP em relação as manejadas com PB. Esta informação corrobora com as respostas encontradas por Zhou et al. (2022) em que mudas de pepino expostas a pouca luminosidade diminuem qP. Efetivamente, o sistema PBH promoveu uma

maior quantidade de RFAref Dd (Figura 15) na região basal do dossel na parte da manhã, bem como ao meio-dia apresentando maiores valores de qP nas folhas.

A variável  $PI_{Abs}$  está associada à conservação de energia de fótons que foram absorvidos pelo PSII os quais foram usados para reduzir os aceptores de  $e^-$  do Inter sistema, isto é, é um índice que mostra a ação funcional do PSII quando está normalizada pela energia absorvida (Taiz et al., 2017). Independentemente dos horários observados neste trabalho, as plantas cultivadas na condução PBH apresentaram o mesmo valor de  $PI_{Abs}$  (Tabela 5), promovendo um melhor desempenho do PSII quando comparada às plantas cultivadas nos demais sistemas de condução. A variável  $Dl_o/CS_o$  (Tabela 5) mostrou diferença significativa entre sistemas de condução apenas ao meio-dia (maior RFA) e para esta análise as plantas cultivadas SPBV tiveram os maiores valores quando comparadas às plantas dos outros sistemas. Haja visto que em relação aos demais sistemas, o cultivo SPBV apresentou valores mínimos ao meio-dia de  $PI_{Abs}$  (Tabela 5) e  $QY_{máx}$  (Tabela 6) comprovando que a redução da eficiência destes parâmetros para a etapa fotoquímica primária pode aumentar  $Dl_o/CS_o$ .

Uma elevada RFA causa uma redução no transporte de energia no PSII e uma forma de dissipar o excesso dessa energia é por meio do NPQ (Ashorostaghi et al., 2022). O NPQ é uma variável que indica se está ocorrendo o fenômeno da fotoinibição, isto é, este *quenching* é de grande importância para os processos de proteção do PSI e PSII (Chen et al., 2022). A emissão do calor é a forma mais importante representada pela variável NPQ (Chen et al., 2022). Os valores de referência que variam entre 0,5 e 3,5 são valores considerados para plantas saudáveis e a tendência com que o NPQ reduz é proveniente de RFA supra ótima, assim como o aumento de NPQ dá-se pela pouca disponibilidade de RFA no ambiente (Goltsev et al., 2016). Nas plantas de lúpulo neste presente estudo o valor de NPQ (Tabela 6 e Figura 16) mostrou uma diferença entre sistemas de condução somente quando as plantas foram expostas no período de maior RFA (meio-dia). O menor valor de NPQ foi observada nas plantas com PBH (2,5). Portanto, a ação do PBH nas plantas além da dissipação de calor pode ter promovido o acúmulo de zeaxantina, pigmento do ciclo das xantofilas presente no CCLII o qual está diretamente associado ao NPQ para efeito protetor em razão da elevada RFA ao meio-dia.

De acordo com Goltsev et al. (2016), em RFA supra ótima há a oxidação da violaxantina, carotenoide o qual é transformado em zeaxantina e anteraxantina. Esta conversão é um mecanismo de dissipação de calor pelo excesso de energia absorvida para efeito protetor do CCLII e a zeaxantina possui um papel fundamental em induzir a estabilização dos complexos (Khajuria et al., 2020). Assim quando ocorre a estabilização, o mecanismo é reversível para violaxantina sendo a zeaxantina e anteraxantina epoxidados (Goltsev et al., 2016). Em *Cannabis sativa* L., espécie da mesma família do lúpulo, na condição de RFA supra ótima houve uma redução de NPQ e esta redução foi associada a um aumento direto na produção do fitocanabinoide THC, metabólito secundário da planta (Khajuria et al., 2020). Desta forma, comparando com os resultados encontrados neste trabalho possivelmente com a redução de NPQ nas plantas de lúpulo com PBH e com o aumento de RFA ao meio-dia o mecanismo fotoprotetor do aparato fotossintético pode ter aumentado a produção dos metabólitos secundários da planta.

O PRI é uma das variáveis mais utilizadas para uma melhor compreensão das propriedades espectrais foliares. Esta variável é baseada em cálculos de propriedades espectrais e está diretamente relacionada a FC (Nunes et al., 2023). Ainda, o PRI está relacionado à refletividade dos pigmentos fotoprotetores e pode indicar a eficiência do uso da RFA e a capacidade de fotoproteção nos processos fotossintéticos das plantas (Gamon et al., 2023). De acordo com Zhang et al. (2016), a arquitetura do dossel, o ângulo de incidência sobre a folha e a orientação da folha impactam no valor de PRI. Portanto, PRI é uma ferramenta que tem a função de mostrar a vulnerabilidade fotossintética das plantas em condições de estresses abióticos, principalmente por RFA supra ótima (Gamon et al., 2023). Nesta presente pesquisa, os tratamentos na condição horizontal promoveram maior PRI no período da manhã (Tabela 7). Contudo, ao meio-dia (maior RFA) as plantas cultivadas em PBH mostraram um valor superior em relação as plantas do SPBV. Entre os horários analisados, as plantas no cultivo principalmente com PBH foram as que não apresentaram alteração de PRI. Portanto, o sistema PBH promoveu nas plantas uma melhor eficiência no uso da luz.

Nunes et al. (2023) relataram que o WBI é um ótimo indicador de estresse hídrico nas plantas pois é uma variável que detecta a alteração nos conteúdos relativos de água na folha. Isto é, esta variável está relacionada à água no mesófilo foliar, sendo uma medida muito utilizada nos estudos relacionados à ecofisiologia

vegetal (Hoseny et al., 2023). Nas plantas de lúpulo nesta presente pesquisa os valores de WBI (Tabela 7) não apresentaram variação entre os sistemas de cultivo estudados e no horário de maior RFA todas as plantas reduziram o conteúdo de água no mesofilo foliar, embora todos os sistemas demonstraram que as plantas não estavam em estresse hídrico por estarem na capacidade de campo.

O CNDVI é uma nova variável encontrada na literatura (Hu et al., 2022). Os valores de CNDVI estão relacionados à reflectância nas faixas de radiação do vermelho e infravermelho próximo e estas reflectâncias estão associadas às moléculas de clorofilas (Liu et al., 2021b). Nesta presente pesquisa e independente do horário estudado, as plantas de lúpulo do sistema com PBH tiveram maiores valores desta variável (Tabela 7), efetivamente validando o uso de PB como os resultados encontrados no índice SPAD (Figura 10).

Nas análises biométricas finais, as plantas com PBH se destacaram com médias superiores de Nrp (Tabela 8), de AFrp (Tabela 9) e de %FCa (Tabela 10). Na análise de MSrp (Tabela 9) as plantas com PBV tiveram valores superiores em relação às plantas no sistema SPBV. A partir destas respostas, fica comprovado que o uso de PB foi efetivo em razão do acúmulo de biomassa de parte aérea nas plantas.

A cultivar 'Yakima Gold' analisada no Sul do Brasil (safras 2021 e 2022), apresenta cones florais em média de 20 mm de comprimento e 13 mm de largura (Leles et al., 2023). Este resultado foi diferentemente encontrado no CMC e DMC dos cones colhidos de todos os sistemas de cultivos utilizados nesta presente pesquisa (Tabela 10). Possivelmente, a condição de Campos dos Goytacazes pode ter influenciado positivamente nestas variáveis, principalmente com o uso de PB sobre o solo.

Leles et al. (2023) relataram que a produção da 'Yakima Gold' da primeira safra ( $100 \text{ g.planta}^{-1}$ ) não correspondeu igualmente a segunda ( $700 \text{ g.planta}^{-1}$ ) visto que nos três primeiros anos após o plantio a estabilização das plantas na área estudada estava associada às condições climáticas da região (subtropical). Vale a pena ressaltar que nesta dissertação foi obtida apenas a primeira safra da cultivar 'Yakima Gold' e sendo analisado que o uso de PB sobre o solo proporcionou uma melhor estabilidade para as plantas desta cultivar com uma diferença significativa superior aos sistemas sem o uso de PB como cobertura do solo nas variáveis relacionadas a produção floral (MFC, MSCo e Pe, Tabela 10).

## CONCLUSÕES

O uso de PB no solo otimizou a distribuição da RFA dentro do dossel em relação às plantas cultivadas no sistema sem PB pois independente da condução utilizada (PBV ou PBH) as variáveis ecofisiológicas (trocas gasosas, eficiência fotoquímica e propriedades espectrais foliares) e as de produção apresentaram condições superiores nas plantas cultivadas com PB.

No sistema de cultivo com PBV as variáveis que se destacaram foram as associadas ao crescimento, à distribuição da RFA (incidente e refletida), às trocas gasosas e a produtividade estimada.

No sistema PBH as folhas das plantas de lúpulo apresentaram um maior valor no índice SPAD, na eficiência fotoquímica, nas propriedades espectrais da folha madura e na biometria final.

Portanto, analisando plantas da cultivar 'Yakima Gold' por meio do bom desempenho ecofisiológico associado ao uso do PB sobre o solo, tanto no sistema de condução vertical quanto na horizontal, é possível o cultivo do lúpulo em condição tropical, semiárida e de baixa altitude.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbate, C., Scavo, A., Pesce, G.R., Fontanazza, S., Restuccia, A., Mauromicale, G. (2023) Soil bioplastic mulches for agroecosystem sustainability: a comprehensive review. *Agriculture*. 13:197. DOI 10.3390/agriculture13010197.

Adeleye, V.O., Seal, D.R., Liburd, O.E., McAuslane, H., Alborn, H. (2022) Pepper weevil, *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) suppression on jalapeño pepper using non-host insect repellent plants. *Crop Protection*. 154:105893. DOI 10.1016/j.cropro.2021.105893.

Agathokleous, E., Feng, Z., Peñuelas, J. (2020) Chlorophyll hormesis: Are chlorophylls major components of stress biology in higher plants?. *Science of The Total Environment*. 726:138637. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.138637.

Agehara, S. (2020) Using supplemental lighting to control flowering of hops in Florida. Horticultural Sciences Department (HS1365), 4p.

Amare, G., Desta, B. (2021) Coloured plastic mulches: impact on soil properties and crop productivity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 8:1-9. DOI 10.1186/s40538-020-00201-8.

Amoriello, T., Fiorentino, S., Vecchiarelli, V., Pagano, M. (2020) Evaluation of spent grain biochar impact on hop (*Humulus lupulus* L.) growth by multivariate image analysis. *Applied Sciences*. 10:533. DOI 10.3390/app10020533.

Aprolúpulo - Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo. Nosso personagem principal - O lúpulo. Disponível em: <<https://aprolupulo.com.br/cultivo>>. Acesso em 04 de março de 2023.

Arnold, A.L.M., McGrath, C., Reinhardt, A. (2023) Effects of oak processionary moth (*Thaumetopoea processionea* L.) outbreaks on the leaf performance and health of urban and forest oak trees (*Quercus robur* L.). *Forests*. 14:124. DOI 10.3390/f14010124.

Awasthi, P., Kocábek, T., Mishra, A.K., Nath, V.S., Shrestha, A., Matoušek, J. (2021) Establishment of CRISPR/Cas9 mediated targeted mutagenesis in hop (*Humulus lupulus*). *Plant Physiology and Biochemistry*. 160:1-7. DOI 10.1016/j.plaphy.2021.01.006.

Azad, M.D.O.K., Kjaer, K.H., Adnan, M.D., Naznin, M.T., Lim, J.D., Sung, E.J., Ho, P.C., Lim, J.S. (2020) The evaluation of growth performance, photosynthetic capacity, and primary and secondary metabolite content of leaf lettuce grown under limited irradiation of blue and red LED light in an urban plant factory. *Agriculture*. 10:28. DOI 10.3390/agriculture10020028.

Banks, J.M. (2017) Continuous excitati on chlorophyll fluorescence parameters: a review for practitioners. *Tree Physiology*. 37: 1128-1136. DOI 10.1093/treephys/tpx059.

Barbosa, A.I.G., Reis, C.H., Mendonça, J.C., Lämmle, L. (2020) O uso de Sensoriamento Remoto para estimar área plantada de cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil. *Revista Cerrados*. 18: 69-99. DOI 10.46551/rc24482692202010.

BarthHaas (2023). BarthHaas Report 2021/2022. Disponível em: <<https://www.barthhaas.com/en/campaign/barthhaas-report-2022>>. Acesso em 06 de junho 2023.

Bauerle, W.L. (2019) Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. *Scientific Reports*. 9:16003. DOI 10.1038/s41598-019-52548-0.

Bauerle, W.L. (2021a) Internode elongation and strobili production of *Humulus lupulus* cultivars in response to local strain sensing. *Scientific Reports*. 11:9017. DOI 10.1038/s41598-021-88720-8.

Bauerle, W.L. (2021b) Intracanalopy CO<sub>2</sub> and light interactions on *Humulus lupulus* L. net canopy carbon gain under current and future atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 310:108621. DOI 10.1016/j.agrformet.2021.108621.

Bauerle, W.L. (2022) Gibberellin A3 induced flowering intensification in *Humulus lupulus* L.: Synchronizing vegetative phase change and photoperiod induction. *Scientia Horticulturae*. 302:111183. DOI 10.1016/j.scienta.2022.111183.

Bertelli, D., Brighenti, V., Marchetti, L., Reik, A., Pellati, F. (2018) Nuclear magnetic resonance and high-performance liquid chromatography techniques for the characterization of bioactive compounds from *Humulus lupulus* L. (hop). *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 410:3521-3531. DOI 10.1007/s00216-018-0851-y.

Bhagooli, R., Mattan-Moorgawa, S., Kaullysing, D., Louis, Y.D., Gopeechund, A., Ramah, S., Louis, Y.D., Gopeechund, A., Ramah, S., Soondur, M., Pilly, S.S., Beesoo, R., Wijayanti, D.P., Bachok, Z.B., Monrás, V.C., Casareto, B.E., Suzuki, Y., Baker, A.C. (2021) Chlorophyll fluorescence—A tool to assess photosynthetic performance and stress photophysiology in symbiotic marine invertebrates and seaplants. *Marine Pollution Bulletin*. 165:112059. DOI 10.1016/j.marpolbul.2021.112059.

Bohn, L., Lyra, G.B., Oliveira-Júnior, J.F., Zeri, M., Cunha-Zeri, G. (2021) Desertification susceptibility over Rio de Janeiro, Brazil, based on aridity indices and geoprocessing. *International journal of climatology*. 41:E2600-E2614. DOI 10.1002/joc.6869.

Braghiere, R.K., Quaife, T., Black, E., He, L., Chen, J.M. (2019) Underestimation of global photosynthesis in earth system models due to representation of vegetation structure. *Global Biogeochemical Cycles*. 33:1358-1369. DOI 10.1029/2018GB006135.

Brant, V., Krofta, K., Kroulik, M., Zabransky, P., Prochazka, P., Pokorny, J. (2020) Distribution of root system of hop plants in hop gardens with regular rows cultivation. *Plant, Soil and Environment*. 66:317-326. DOI 10.17221/672/2019-PSE.

Bussotti, F., Gerosa, G., Digrado, A., Pollastrini, M. (2020) Selection of chlorophyll fluorescence parameters as indicators of photosynthetic efficiency in large scale plant ecological studies. *Ecological Indicators*. 108:105686. DOI 10.1016/j.ecolind.2019.105686.

Caffrey, A. & Ebeler, S.E. (2021) The occurrence of glycosylated aroma precursors in *Vitis vinifera* fruit and *Humulus lupulus* hop cones and their roles in wine and beer volatile aroma production. *Foods*. 10:935. DOI 10.3390/foods10050935.

Caplin, M. & Chen, L. (2020) The potential role of xanthohumol in SARS-CoV-2 treatment—globally accessible and economically viable. *Nutrition and Dietary Supplements*. 12:201-204. DOI 10.2147/NDS.S265857.

Chaudhary, S., Devi, P., Bhardwaj, A., Jha, U.C., Sharma, K.D., Prasad, P.V.V., Siddique, K.H.M., Bindumadhava, H., Kumar, S., Nayyar, H. (2020) Identification and Characterization of Contrasting Genotypes/Cultivars for Developing Heat Tolerance in Agricultural Crops: Current Status and Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 11:587264. DOI: 10.3389/fpls.2020.587264.

Chen, D., Yuan, K., Zhang, J., Wang, Z., Sun, Z., Zhang, H., Hu, J. (2022) Response analysis of fluorescence parameters of tomato seedlings oriented to vertical light environment adaptation. *Plant Science*. 314:111118. DOI 10.1016/j.plantsci.2021.111118.

Chen, S., Yang, J., Zhang, M., Strasser, R.J., Qiang, S. (2016) Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise O-J-I-P. *Environmental and Experimental Botany*. 122:126-140. DOI 10.1016/j.envexpbot.2015.09.011.

Chia, R.W., Lee, J.Y., Jang, J., Kim, H., Kwon, K.D. (2022) Soil health and microplastics: a review of the impacts of microplastic contamination on soil properties. *Journal Soils Sediments*. 22:2690-2705. DOI 10.1007/s11368-022-03254-4.

Coelho, E.F., Santos, D.L., Lima, L.W.F., Castricini, A., Barros, D.L., Filgueiras, R., da Cunha, F.F. (2022) Water regimes on soil covered with plastic film mulch and relationships with soil water availability, yield, and water use efficiency of papaya trees. *Agricultural Water Management*. 269:107709. DOI 10.1016/j.agwat.2022.107709.

ComexStat - Estatística de Comércio Exterior do Brasil. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/32808>>. Acesso em 20 de julho de 2023.

Comi, M. (2020) Other agricultures of scale: Social and environmental insights from Yakima Valley hop growers. *Journal of Rural Studies*. 80:543-552. DOI 10.1016/j.jrurstud.2020.10.041.

Costa, B.N.S., Costa, I.J.S., Souza, G.A., Abreu, R.A.A., Melo, E.T., Pio, L.A.S., Pasqual, M. (2022) Different types of soil mulches in the leaf anatomy and physiology of 'BRS Platina' banana in a non-irrigated management. *Scientia Horticulturae*. 292:110605. DOI 10.1016/j.scienta.2021.110605.

CPCNW - Clean Plant Center Northwest. Disponível em: <<https://cpcnw.wsu.edu/hops-2/>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2023.

Craig, D.S. & Runkle, E.S. (2013) A moderate to high red to far-red light ratio from light-emitting diodes controls flowering of short-day plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 138:167-172. DOI 10.21273/JASHS.138.3.167.

Decoteau, D.R. (2008) The emergence and early development of colored reflective plastic mulch technology in agriculture. *Agriculture Journal*. 1-17.

DeNoma, J.S. (2020) Hop genetic resources. Disponível em: <<https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/corvallis-or/national-clonal-germplasm-repository/docs/ncgr-corvallis-humulus-germplasm/#history3>>. Acesso em 10 de março de 2023.

De Simone, N., Russo, P., Tufariello, M., Fragasso, M., Solimando, M., Capozzi, V., Grieco, F., Spano, G. (2021) Autochthonous biological resources for the production of regional craft beers: exploring possible contributions of cereals, hops, microbes, and other ingredients. *Foods*. 10:1831. DOI 10.3390/foods10081831.

Dodds, K. (2017) Hops: a guide for new growers. 1. ed. Department of Primary Industries, 45p.

Donner, P., Pokorný, J., Ježek, J., Krofta, K., Patzak, J.P., Pulkrábek, J. (2020) Influence of weather conditions, irrigation and plant age on yield and alpha-acids content of Czech hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars. *Plant, Soil and Environment*. 66:41-46. DOI 10.17221/627/2019-PSE.

Driskill, M., Parde, K., Hummer, K.E., Zum, J.D., Amundsen, K., Wiles, A., Wiedow, C., Patzak, J., Henning, J.A., Bassil, N.V. (2022) Two fingerprinting sets for *Humulus lupulus* based on KASP and microsatellite markers. *PLOS ONE*. 17:e0257746. DOI 10.1371/journal.pone.0257746.

Dubberstein, D., Lidon, F.C., Rodrigues, A.P., Semedo, J.N., Marques, I., Rodrigues, W.P., Gouveia, D., Armengaud, J., Semedo, M.C., Martins, S., Simões-Costa, M.C., Moura, I., Pais, I.P., Scotti-Campos, P., Partelli, F.L., Campostrini, E., Ribeiro-Barros, A.I., DaMatta, F.M., Ramalho, J.C. (2020) Resilient and sensitive key points of the photosynthetic machinery of *Coffea* spp. to the single and superimposed exposure to severe drought and heat stresses. *Frontiers in Plant Science*. 11:546467. DOI 10.3389/fpls.2020.01049.

Engineer, C.B., Hashimoto-Sugimoto, M., Negi, J., Israelsson-Nordström, M., Azoulay-Shemer, T., Rappel, W.-J., Iba, K., Schroeder, J.I. (2016) CO<sub>2</sub> sensing and CO<sub>2</sub> regulation of stomatal conductance: advances and open questions. *Trends in Plant Science*. 21:16-30. DOI 10.1016/j.tplants.2015.08.014.

Eriksen, R.L., Rutto, L.K., Dombrowski, J.E., Hening, J.A. (2020) Photosynthetic activity of six hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars under different temperature treatments. *HortScience*. 55:403-409. DOI 10.21273/HORTSCI14580-19.

Eriksen, R.L., Padgitt-Cobb, L.K., Townsend, M.S., Henning, J.A. (2021) Gene expression for secondary metabolite biosynthesis in hop (*Humulus lupulus* L.) leaf lupulin glands exposed to heat and low-water stress. *Scientific Reports*. 11:5138. DOI 10.1038/s41598-021-84691-y.

Fandiño, M., Olmedo, J.L., Martínez, E.M., Valladares, J., Paredes, P., Rey, B.J., Mota, M., Cancela, J.J., Pereira, L.S. (2015) Assessing and modelling water use and the partition of evapotranspiration of irrigated hop (*Humulus lupulus*), and relations of transpiration with hops yield and alpha-acids. *Industrial Crops and Products*. 77:204-217. DOI 10.1016/j.indcrop.2015.08.042.

FAO STAT - Food and Agriculture Organization of United Nations - Statistics Database. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em 06 de junho de 2023.

Forteschi, M., Porcu, M.C., Fanari, M., Zinellu, M., Secchi, N., Buiatti, S., Passaghe, P., Bertoli, S., Pretti, L. (2019) Quality assessment of Cascade Hop (*Humulus lupulus* L.) grown in Sardinia. *European Food Research and Technology*. 245:863-871. DOI 10.1007/s00217-018-3215-0.

Fu, Y., Si, L., Jin, Y., Xia, Z., Wang, Q., Lu, H. (2022) Efficacy of black plastic film mulching as a cultivation strategy to cope with leaf senescence and increase yield of rainfed spring maize (*Zea mays* L.). *Soil Use and Management*. 38:1044-1053. DOI 10.1111/sum.12677.

Gamon, J. A., Penuelas, J., & Field, C. B. (1992) A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*. 41:35-44. DOI 10.1016/0034-4257(92)90059-S.

Gamon, J.A., Wang, R., Russo, S.E. (2023) Contrasting photoprotective responses of forest trees revealed using PRI light responses sampled with airborne imaging spectrometry. *New Phytologist*. 238:1318-1332. DOI 10.1111/nph.18754.

Gao, H., Yan, C., Liu, Q., Ding, W., Chen, B., Li, Z. (2019) Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*. 651:484-492. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.09.105.

Genty, B., Briantais, J.-M., Baker, N.R. (1989) The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta*. 990:87-92. DOI 10.1016/S0304-4165(89)80016-9.

Gloser, V., Baláž, M., Jupa, R., Halyna, K., Svoboda, P. (2013) The response of *Humulus lupulus* to drought: the contribution of structural and functional plant traits. *Acta Horticulturae*. 1010:149-154. DOI 10.17660/ActaHortic.2013.1010.17.

Goltsev, V.N., Kalaji, H.M., Paunov, M., Baba, W., Horaczek, T., Mojski, J., Kociel, H., Allakhverdiev, S.I. (2016) Variable chlorophyll fluorescence and its use for assessing physiological condition of plant photosynthetic apparatus. *Russian Journal of Plant Physiology*. 63:869-893. DOI 10.1134/S1021443716050058.

Gürel, A.E., Ağbulut, Ü., Bakır, H., Ergün, A., Yıldız, G. (2023) A state of art review on estimation of solar radiation with various models. *Heliyon*. 9:e13167. DOI 10.1016/j.heliyon.2023.e13167.

Hagner, M.M., Hyvönen, T., Mikola, J., Kemppainen, R., Lindqvist, B., Suojala-Ahlfors, T., Tiilikkala, K. (2020) Efficiency of a novel biodegradable pyrolysis liquid-amended mulch in weed control. *Weed Research*. 60:182-193. DOI 10.1111/wre.12411.

Hamdani, S., Khan, N., Perveen, S., Qu, M., Jiang, J., Govindjee, Zhu, X.-G. (2019) Changes in the photosynthesis properties and photoprotection capacity in rice (*Oryza sativa*) grown under red, blue, or white light. *Photosynthesis Research*. 139:107-121. DOI 10.1007/s11120-018-0589-6.

Haunreiter, K.J., Dichiara, A., Gustafson, R. (2021) Structural and chemical characterization of hop bine fibers and their applications in the paper industry. *Industrial Crops and Products*. 174:114217. DOI 10.1016/j.indcrop.2021.114217.

Hejnák, V., Hniličková, H., Hnilička, F. (2014) Effect of ontogeny, heterophylly and leaf position on the gas exchange of the hop plant. *Plant, Soil and Environment*. 11:525-530. DOI 10.17221/671/2014-PSE.

Helaly, A.A., Goda, Y., El-Rehim, A.S., Mohamed, A.A., El-Zeiny, O.H. (2017) Effect of polyethylene mulching type on the growth, yield and fruits quality of *Physalis pubescens*. *Advances in Plants & Agriculture Research*. 6:1-7. DOI 10.15406/apar.2017.06.00229.

Henning, J.A., Townsend, M.S., Gent, D.H., Wiseman, M.S., Walsh, D.B., Groenendale, D.P., Randazzo, A.M. (2021) Registration of high-yielding aroma hop (*Humulus lupulus* L.) cultivar 'USDA Triumph'. *Journal of Plant Registrations*. 15:244-252. DOI 10.1002/plr2.20138.

Hniličková, H., Hnilička, F., Krofta, K. (2008) The effect of weather on the hops's photosynthesis and transpiration rate. Alps-Adria Scientific Workshop, 7<sup>o</sup>, Stara Lesna - Slovakia: Cereal Research Communications, 36:887-890.

Horton, P. & Ruban, A.V. (1992) Regulation of photosystem II. Photosynthesis Research. 34:375-385. DOI 10.1007/BF00029812.

Horton, P., Ruban, A.V., Walters, R.G. (1996) Regulation of light harvesting in green plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 47:655-684. DOI 10.1146/annurev.arplant.47.1.655.

Hoseny, M.M.E., Dahi, H.F., Shafei, A.M.E., Yones, M.S. (2023) Spectroradiometer and thermal imaging as tools from remote sensing used for early detection of spiny bollworm, *Earias insulana* (Boisd.) infestation. International Journal of Tropical Insect Science. 43:245-256. DOI 10.1007/s42690-022-00917-0.

Hu, S., Shi, L., Zha, Y., Zeng, L. (2022) Regional yield estimation for sugarcane using modis and weather data: a case study in florida and louisiana, united states of america. Remote Sensing. 14:3870. DOI 10.3390/rs14163870.

Huché-Théliet, L., Crespel, L., Le Gourrierec, J., Morel, P., Sakr, S., Leduc, N. (2016) Light signaling and plant responses to blue and UV radiations—Perspectives for applications in horticulture. Environmental and Experimental Botany. 121:22-38. DOI 10.1016/j.envexpbot.2015.06.009.

Iglesias, I. & Alegre, S. (2009) The effects of reflective film on fruit color, quality, canopy light distribution, and profitability of 'mondial gala' apples. HortTechnology. 19:488-498. DOI 10.21273/HORTTECH.19.3.488.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em 09 de junho de 2023.

IPCC (2023) Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>>. Acesso em 24 de março de 2023.

Ivanova, M., Gins, E., Fedosov, A., Baikov, A., Demyanova-Roy, G., Gins, V., Mizrukhina, Y., Choloquina, M., Dembele, L. (2021) Influence of different types of AGROTEX™ mulching material on the yield of lettuce (*Lactuca sativa*) introduced in Moscow region. Food Science Source. 22:596-601. DOI 10.31830/2348-7542.2021.107.

Jähne, F., Hahn, V., Würschum, T., Leiser, W. L. (2020) Speed breeding short-day crops by LED-controlled light schemes. Theoretical and Applied Genetics. 133:2335-2342. DOI 10.1007/s00122-020-03601-4.

Jastrombek, J.M., Faguerazzi, M.M., Pierezan, H.C., Rufato, L., Sato, A.J., Ricce, W.S., Marques, V.V., Leles, N.R., Roberto, S.R. (2022) Hop: an emerging crop in subtropical areas in Brazil. Horticulturae. 8:393. DOI 10.3390/horticulturae8050393.

Jones, H.G. (2013) Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 407p.

Julkowska, M.M. & Testerink, C. (2015) Tuning plant signaling and growth to survive salt. Trends in Plant Science. 20:586-594. DOI 10.1016/j.tplants.2015.06.008.

Jupa, R., Plavcová, L., Flamiková, B., Gloser, V. (2016) Effects of limited water availability on xylem transport in liana *Humulus lupulus* L. Environmental and Experimental Botany. 130:22-32. DOI 10.1016/j.envexpbot.2016.05.008.

Kao, Y.-T., Saxena, C., He, T.-F., Guo, L., Wang, L., Sancar, A., Zhong, D. (2008) Ultrafast dynamics of flavins in five redox states. Journal of the American Chemical Society. 130:13132-13139. DOI 10.1021/ja8045469.

Kenny, S.T. (2005) Photosynthetic measurements in hop (*Humulus*). Acta Horticulturae. 668:241-248. DOI 10.17660/ActaHortic.2005.668.31.

Khajuria, M., Rahul, V.P., Vyas, D. (2020) Photochemical efficiency is negatively correlated with the  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol content in *Cannabis sativa* L. Plant physiology and Biochemistry. 151:589-600. DOI 10.1016/j.plaphy.2020.04.003.

Khan, A., Ahmad, M., Ahmed, M., Hussain, M.I. (2020) Rising atmospheric temperature impact on wheat and thermotolerance strategies. *Plants*. 10:43. DOI 10.3390/plants10010043.

Kobori, M.M.R.G., Mello, S.C., Freitas, I.S., Silveira, F.F., Alves, M.C., Azevedo, R.A. (2022) Supplemental light with different blue and red ratios in the physiology, yield and quality of *Impatiens*. *Scientia Horticulturae*. 306:111424. DOI 10.1016/j.scienta.2022.111424.

Kolenc, Z., Vodnik, D., Mandelc, S., Javornik, B., Kastelec, D., Čerenak, A. (2016) Hop (*Humulus lupulus* L.) response mechanisms in drought stress: proteomic analysis with physiology. *Plant Physiology and Biochemistry*. 105:67-78. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.03.026.

Kondić, D., Čerenak, A., Košir, I.J., Ocvirk, M., Krmpot, T., Đurić, G. (2021) Morphological and biochemical characterization of wild hop (*Humulus lupulus* L.) populations from banja luka area (Bosnia and Herzegovina). *Agronomy*. 11:239. DOI 10.3390/agronomy11020239.

Korpelainen, H. & Pietiläinen, M. (2021) Hop (*Humulus lupulus* L.): traditional and present use, and future potential. *Economic Botany*. 75:302-322. DOI 10.1007/s12231-021-09528-1.

Landi, M., Zivcak, M., Sytar, O., Brestic, M., Allakhverdiev, S.I. (2020) Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*. 1861:148131. DOI 10.1016/j.bbabi.2019.148131.

La Pasta Cordeiro, M., da Silva Junior, G.C., Dereczynski, C.P., Chrispim, Z.M.P., Melo, M.T.C. (2021) Analysis of indicators of climate extremes and projection of groundwater recharge in the northern part of the Rio de Janeiro state, Brazil. *Environment, Development and Sustainability*. 23:18311-18336. DOI 10.1007/s10668-021-01441-w.

Larcher, W. (2003) *Physiological Plant Ecology - Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 4. ed. Springer Science & Business Media, 513p.

Lee, M.-J., Son, K.-H., Oh, M.-M. (2016) Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED light supplemented with blue LED light. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 57:139-147. DOI 10.1007/s13580-016-0133-6.

Legun, K., Comi, M., Vicol, M. (2022) New aesthetic regimes: The shifting global political ecology of aroma hops. *Geoforum*. 128:148-157. DOI 10.1016/j.geoforum.2021.12.004.

Leles, N.R., Sato, A.J., Rufato, L., Jastrombek, J.M., Marques, V.V., Missio, R.F., Fernandes, N.L.M., Roberto, S.R. (2023) Performance of hop cultivars grown with artificial lighting under subtropical conditions. *Plants*. 12:1971. DOI 10.3390/plants12101971.

Lichtenthaler, H.K. & Miehe, J.A. (1997) Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. *Trends in Plant Science*. 8:316-320. DOI 10.1016/S1360-1385(97)89954-2.

Ling, L. & Zhang, S. (2019) The complete chloroplast genome of *Humulus yunnanensis* and phylogenetic analysis of the genus *Humulus*. *Mitochondrial DNA*. 4:2681-2682. DOI 10.1080/23802359.2019.1644243.

Liu, G., Bai, Z., Shah, F., Cui, G., Xiao, Z., Gong, H., Li, D., Lin, Y., Li, B., Ji, G., Shah, S. (2021a) Compositional and structural changes in soil microbial communities in response to straw mulching and plant revegetation in an abandoned artificial pasture in Northeast China. *Global Ecology and Conservation*. 31:e01871. DOI 10.1016/j.gecco.2021.e01871.

Liu, R., Song, Y., Liu, Y., Li, X., Song, H., Sun, C., Li, Q., Cai, Q., Ren, M., Wang, L. (2021b) Changes in the tree-ring width-derived cumulative normalized difference vegetation index over northeast china during 1825 to 2013 CE. *Forests*. 12:241. DOI 10.3390/f12020241.

MacKinnon, D., Pavlović, V., Čeh, B., Naglič, B., Pavlović, M. (2020) The impact of weather conditions on alpha-acid content in hop (*Humulus lupulus* L.) cv. Aurora. *Plant Soil Environment*. 66:519-525. DOI 10.17221/344/2020-PSE.

MacKinnon, D. & Pavlović, M. (2023) Proprietary varieties' influence on economics and competitiveness in land use within the hop industry. *Land*. 12:2418. DOI 10.3390/land12030598.

Mafakheri, M., Kordrostami, M., Rahimi, M., Matthews, P.D. (2020) Evaluating genetic diversity and structure of a wild hop (*Humulus lupulus* L.) germplasm using morphological and molecular characteristics. *Euphytica*. 216:1-19. DOI 10.1007/s10681-020-02592-z.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2022) Lúpulo no Brasil: perspectivas e realidades. 1. ed. Brasília: MAPA/SAF, 175p.

MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2023a) Anuário da cerveja, ano de referência 2022. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2022/>. Acesso em 15 de julho de 2023.

MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2023b). Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/guia-de-servicos/registro-nacional-de-cultivares-rnc>. Acesso em 01 de julho de 2023.

Marble, S.C., Steed, S.T., Saha, D., Khamare, Y. (2019) On-farm evaluations of wood-derived, waste paper, and plastic mulch materials for weed control in florida container nurseries. HortTechnology. 29:866-873. DOI 10.21273/HORTTECH04437-19.

Marceddu, R., Carrubba, A., Sarno, M. (2020) Cultivation trials of hop (*Humulus lupulus* L.) in semi-arid environments. Heliyon. 6:e05114. DOI 10.1016/j.heliyon.2020.e05114.

Marceddu, R., Carrubba, A., Sarno, M. (2022) Resilience of hop (*Humulus lupulus* L.) to salinity, heat and drought stresses: A mini-review. Frontiers in Plant Science. 13:1064922. DOI 10.3389/fpls.2022.1064922.

Marques, S.P.D., Owen, R.W., da Silva, A.M.A., Alves Neto, M.L., Trevisan, M.T.S. (2022) QuEChERS extraction for quantitation of bitter acids and xanthohumol in hops by HPLC-UV. Food Chemistry. 388:132964. DOI 10.1016/j.foodchem.2022.132964.

Mathur, S., Agrawal, D., Jajoo, A. (2014) Photosynthesis: Response to high temperature stress. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 137:116-126. DOI 10.1016/j.jphotobiol.2014.01.010.

Meier, U. (2001) Growth stages of mono and dicotyledonous plants – BBCH. Monograph. Wageningen University and Research Library catalog, 204p.

Mickens, M., Skoog, E., Reese, L., Barnwell, P., Spencer, L., Massa, G., Wheeler, R. (2018) A strategic approach for investigating light recipes for 'Outredgeous' red romaine lettuce using white and monochromatic LEDs. Life Sciences in Space Research. 19:53-62. DOI 10.1016/j.lssr.2018.09.003.

Miele, A. & Mandelli, F. (2015) Implantação do vinhedo, cultivares e manejo da planta. 1. ed. Brasília: Embrapa, 17p.

Miles, C., DeVetter, L., Ghimire, S., Hayes, D.G. (2017) Suitability of biodegradable plastic mulches for organic and sustainable agricultural production systems. *HortScience*. 52:10-15. DOI 10.21273/HORTSCI11249-16.

Miranda, J., Detoni, A.M., Lima, C.S.M., Forlin, D., Cottica, S.M. (2020) Microclimatic characteristics on behavior agronomic and qualitative of 'Isabel precoce' grapes in different driving systems in santa tereza do Oeste-PR. *Brazilian Journal of Development (BJD)*. 6:53165-53196. DOI 10.34117/bjdv6n7-821.

Miranda, R.M.S.N. (2021) Fatores do ambiente no crescimento e desenvolvimento do lúpulo: uma revisão. Monografia. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 42p.

Morcol, T.B., Negrin, A., Matthews, P.D., Kennelly, E.J. (2020) Hop (*Humulus lupulus* L.) terroir has large effect on a glycosylated green leaf volatile but not on other aroma glycosides. *Food chemistry*. 321:126644. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.126644.

Morcol, T.B., Matthews, P.D., Kennelly, E.J. (2021) Differences in leaf chemistry and glandular trichome density between wild southwestern american hop (*Humulus neomexicanus*) and commercial hop cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 69:7798-7814. DOI 10.1021/acs.jafc.1c02710.

Mozny, M., Tolasz, R., Nekovar, J., Sparks, T., Trnka, M., Zalud, Z. (2009) The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149:913-919. DOI 10.1016/j.agrformet.2009.02.006.

Nakawuka, P., Peters, T.R., Kenny, S., Walsh, D. (2017) Effect of deficit irrigation on yield quantity and quality, water productivity and economic returns of four cultivars of hops in the Yakima Valley, Washington State. *Industrial Crops and Products*. 98:82-92. DOI 10.1016/j.indcrop.2017.01.037.

Neve, R.A. (1991) Hops. 1. ed. Springer Science & Business Media 2012, 266p.

Nunes, P.H., Pierangeli, E.V., Santos, M.O., Silveira, H.R.O., de Matos, C.S.M., Pereira, A.B., Alves, H.M.R., Volpato, M.M.L., Silva, V.A., Ferreira, D.D. (2023) Predicting coffee water potential from spectral reflectance indices with neural networks. *Smart Agricultural Technology*. 4:100213. DOI 10.1016/j.atech.2023.100213.

Oxborough, K. (2004) Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. *Journal of Experimental Botany*. 55:1195-1205. DOI 10.1093/jxb/erh145.

Oxborough, K. & Baker, N.R. (1997). Resolving chlorophyll a fluorescence images of photosynthetic efficiency into photochemical and non-photochemical components – calculation of qP and Fv/Fm-; without measuring Fo. *Photosynthesis Research*. 54:135-142. DOI 10.1023/A:1005936823310.

Paguet, A.S., Siah, A., Lefèvre, G., Sahpaz, S., Rivière, C. (2022) Agronomic, genetic and chemical tools for hop cultivation and breeding. *Phytochemistry Reviews*. 21:667-708. DOI 10.1007/s11101-022-09813-4.

Paguet, A.S., Siah, A., Lefèvre, G., Moureu, S., Cadalen, T., Samaille, J., Michels, F., Deracinois, B., Flahaut, C., Santos, H.A., Etienne-Debaecker, A., Rambaud, C., Chollet, S., Molinié, R., Fontaine, J.-X., Waterlot, C., Fauconnier, M.-L., Sahpaz, S., Rivière, C. (2023) Multivariate analysis of chemical and genetic diversity of wild *Humulus lupulus* L. (hop) collected in situ in northern France. *Phytochemistry*. 205:113508. DOI 10.1016/j.phytochem.2022.113508.

Penuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R., Filella, I. (2010) Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*. 18:2869-2875. DOI 10.1080/014311697217396.

Pokorný, J., Pulkrábek, J., Štranc, P., Bečka, D. (2011) Photosynthetic activity of selected genotypes of hops (*Humulus lupulus* L.) in critical periods for yield formation. *Plant Soil Environment*. 57:264-270. DOI 10.17221/30/2011-PSE.

Potopová, V., Lhotka, O., Možný, M., Musiolková, M. (2020) Vulnerability of hop-yields due to compound drought and heat events over European key-hop regions. *International Journal of Climatology*. 41:E2136-E2158. DOI 10.1002/joc.6836.

Ramalho, J.C., Rodrigues, A.P., Semedo, J.N., Pais, I.P., Martins, L.D., Simões-Costa, M.C., Leitão, A.E., Fortunato, A.S., Batista-Santos, P., Palos, I.M., Tomaz, M.A., Scotti-Campos, P., Lidon, F.C., DaMatta, F.M. (2013) Sustained photosynthetic performance of *coffea* spp. under long-term enhanced [CO<sub>2</sub>]. *PLOS ONE*. 8:e82712. DOI: 10.1371/journal.pone.0082712.

Raut, S., Gersdorff, G.J.E., Münsterer, J., Kammhuber, K., Hensel, O., Sturm, B. (2020) Impact of process parameters and bulk properties on quality of dried hops. *Processes*. 8:1507. DOI 10.3390/pr8111507.

Rodolfi, M., Silvanini, A., Chiancone, B., Marieschi, M., Fabbri, A., Bruni, R., Ganino, T. (2018) Identification and genetic structure of wild Italian *Humulus lupulus* L. and comparison with European and American hop cultivars using nuclear microsatellite markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 65:1405-1422. DOI 10.1007/s10722-018-0622-9.

Rodríguez-Moreno, V.M., Padilla-Ramírez, J.S., Medina-García, G., Reyes-González, A. (2022) Combined radiometric analysis related to guava leaf phenology in response to soil application of paclobutrazol (PBZ). *International Journal of Geosciences*. 13:681-694. DOI 10.4236/ijg.2022.138036.

Rossini, F., Virga, G., Loreti, P., Iacuzzi, N., Ruggeri, R., Provenzano, M.E. (2021) Hops (*Humulus lupulus* L.) as a novel multipurpose crop for the mediterranean region of Europe: challenges and opportunities of their cultivation. *Agriculture*. 11:484. DOI 10.3390/agriculture11060484.

Ruíz-Machuca, L.M., Ibarra-Jiménez, L., Valdez-Aguilar, L.A., Robledo-Torres, V.R., Benavides-Mendoza, A., Cabrera-De La Fuente, M. (2015) Cultivation of potato – use of plastic mulch and row covers on soil temperature, growth, nutrient status, and yield. *Soil & Plant Science*. 65:30-35. DOI 10.1080/09064710.2014.960888.

Sage, R.F. & Zhu, X.-G. (2011) Exploiting the engine of C4 photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. 62:2989-3000. DOI 10.1093/jxb/err179.

Sales, R.S.B., Sales, D.S., Mendonça, J.C. (2022) Balanço de energia e ilhas de calor no perímetro urbano de Campos dos Goytacazes, RJ: Um estudo de caso. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 15:3093-3105. DOI 10.26848/rbgf.v15.6.p3093-3105.

Samuolienė, G., Viršilė, A., Haimi, P., Miliauskienė, J. (2020) Photoresponse to different lighting strategies during red leaf lettuce growth. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 202:111726. DOI 10.1016/j.jphotobiol.2019.111726.

Savi, P.J., Gonsaga, R.F., de Matos, S.T.S., Braz, L.T., de Moraes, G.J., de Andrade, D.J. (2021) Performance of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on three hop cultivars (*Humulus lupulus*). *Experimental and Applied Acarology*. 84:733-753. DOI 10.1007/s10493-021-00643-1.

Sharkey, T.D. (2005) Effects of moderate heat stress on photosynthesis: importance of thylakoid reactions, rubisco deactivation, reactive oxygen species, and thermotolerance provided by isoprene. *Plant, Cell & Environment*. 28:269-277. DOI 10.1111/j.1365-3040.2005.01324.x.

Shehata, S.A., Abouziena, H.F., Abdelgawad, K.F., Elkhawaga, F.A. (2019) Weed control efficacy, growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) as affected by alternative weed control methods. *Potato Research*. 62:139-155. DOI 10.1007/s11540-018-9404-1.

Silva, K.S. & Faria Junior, M.J.A. (2011) The use of paclobutrazol as a strategy for controlling height and side shooting of tomato plants. *Science and Agrotechnology*. 35:539-546. DOI 10.1590/S1413-70542011005000004.

Small, E. (1978) A numerical and nomenclatural analysis of morpho-geographic taxa of *Humulus*. *Systematic Botany*. 3:37-76. DOI 10.2307/2418532.

Souza, G.A.R., Neves, D.A., Ruas, K.F., Baroni, D.F., Santos, K.D., Bernado, W.P., Miranda, R.M.S.N., Almeida, C.M., Santos, A.R., Rodrigues, W.P., Rakocevic, M., Campostrini, E. (2022) Supra-optimal temperatures induce photochemical leaf damage and reduce photosynthetic O<sub>2</sub> evolution in *Carica papaya* L. *Environmental and Experimental Botany*. 203:105051. DOI 10.1016/j.envexpbot.2022.105051.

Sposito, M., Ismael, R., Barbosa, C.M.A., Tagliaferro, A. (2019) A Cultura do Lúpulo. Série Produtor Rural, nº 68. Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca, 81p.

Stefanov, M.A., Rashkov, G.D., Apostolova, E.L. (2022) Assessment of the photosynthetic apparatus functions by chlorophyll fluorescence and P700 absorbance in C3 and C4 plants under physiological conditions and under salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 23:3768. DOI 10.3390/ijms23073768.

Stirbet, A. & Govindjee. (2011) On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 104:236-257. DOI 10.1016/j.jphotobiol.2010.12.010.

Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., Srivastava, A. (2004) Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. *Advances in Photosynthesis and Respiration*. 2004:321-362. DOI 10.1007/978-1-4020-3218-9\_12.

Sun, D., Li, H., Wang, E., He, W., Hao, W., Yan, C., Li, Y., Mei, X., Zhang, Y., Sun, Z., Jia, Z., Zhou, H., Fan, T., Zhang, X., Liu, Q., Wang, F., Zhang, Z., Shen, J., Wang, Q., Zhang, F. (2020) An overview of the use of plastic-film mulching in China to increase crop yield and water-use efficiency. *National Science Review*. 7:1523-1526. DOI 10.1093/nsr/nwaa146.

Sun, S., Wang, X., Yuan, A., Liu, J., Li, Z., Xie, D., Zhang, H., Luo, W., Xu, H., Liu, J., Nie, C., Zhang, H. (2022) Chemical constituents and bioactivities of hops (*Humulus lupulus* L.) and their effects on beer-related microorganisms. *Food and Energy Security*. 11:e367. DOI 10.1002/fes3.367.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Artmed, 888p.

Talbi, S., Rojas, J.A., Sahrawy, M., Rodríguez-Serrano, M., Cárdenas, K.E., Debouba, M., Sandalio, L.M. (2020) Effect of drought on growth, photosynthesis and total antioxidant capacity of the saharan plant *Oudeneya africana*. *Environmental and Experimental Botany*. 176:104099. DOI 10.1016/j.envexpbot.2020.104099.

Terrer, C., Jackson, R.B., Prentice, I.C., Keenan, T.F., Kaiser, C., Vicca, S., Fisher, J.B., Reich, P.B., Stocker, B.D., Hungate, B.A., Peñuelas, J., McCallum, I., Soudzilovskaia, N.A., Cernusak, L.A., Talhelm, A.F., Sundert, K.V., Piao, S., Newton, P.C.D., Hovenden, M.J., Blumenthal, D.M., Liu, Y.Y., Müller, C., Winter, K., Field, C.B., Viechtbauer, W., Lissa, C.J.V., Hoosbeek, M.R., Watanabe, M., Koike, T., Leshyk, V.O., Polley, H.W., Franklin, O. (2019) Nitrogen and phosphorus constrain the CO<sub>2</sub> fertilization of global plant biomass. *Nature Climate Change*. 9:684-689. DOI 10.1038/s41558-019-0545-2.

Thompson, M., Gamage, D., Hirotsu, N., Martin, A., Seneweera, S. (2017) Effects of elevated carbon dioxide on photosynthesis and carbon partitioning: a perspective on root sugar sensing and hormonal crosstalk. *Frontiers in Physiology*. 8:253220. DOI 10.3389/fphys.2017.00578.

Toreti, A., Deryng, D., Tubiello, F.N., Müller, C., Kimball, B.A., Moser, G., Boote, K., Asseng, S., Pugh, T.A.M., Vanuytrecht, E., Pleijel, H., Webber, H., Durand, J.-L., Dentener, F., Ceglar, A., Wang, X., Badeck, F., Lecerf, R., Wall, G.W., Van den Berg, M., Hoegy, P., Lopez-Lozano, R., Zampieri, M., Galmarini, S., O'Leary, G.J., Manderscheid, R., Contreras, E.M., Rosenzweig, C. (2020) Narrowing uncertainties in the effects of elevated CO<sub>2</sub> on crops. *Nature Food*. 1:775-782. DOI 10.1038/s43016-020-00195-4.

Wada, M. (2013) Chloroplast movement. *Plant Science*. 210:177-182. DOI 10.1016/j.plantsci.2013.05.016.

Wang, F., Shin, J.Y., Cho, B.O., Hao, S., Park, J.H., Jang, S.I. (2022) Antioxidative stress effects of *Humulus japonicus* extracts on neuronal PC12 cells. *Food Science and Technology*. 42:e101921. DOI 10.1590/fst.101921.

Wang, H., Wu, F., Li, M., Zhu, X., Shi, C., Ding, G. (2021) Morphological and physiological responses of *Pinus massoniana* seedlings to different light gradients. *Forests*. 12:523. DOI 10.3390/f12050523.

Wong, C.E., Teo, Z.W.N., Shen, L., Yu, H. (2020) Seeing the lights for leafy greens in indoor vertical farming. *Trends in Food Science & Technology*. 106:48-63. DOI 10.1016/j.tifs.2020.09.031.

Xu, L., Zhang, D., Proshad, R., Chen, Y.-I., Huang, T.-F., Ugurlu, A. (2021) Effects of soil conservation practices on soil erosion and the size selectivity of eroded sediment on cultivated slopes. *Journal of Mountain Science*. 18:1222-1234. DOI 10.1007/s11629-020-6569-2.

Zhang, C., Filella, I., Garbulsky, M.F., Peñuelas, J. (2016) Affecting factors and recent improvements of the photochemical reflectance index (PRI) for remotely sensing foliar, canopy, and ecosystemic radiation-use efficiencies. *Remote Sensing*. 8:677. DOI 10.3390/rs8090677.

Zhang, L., Qin, R., Wei, H., Zhang, K., Yu, C., Li, F., Zhang, F. (2022) Optimum plastic mulching application to reduce greenhouse gas emissions without compromising on crop yield and farmers' income. *Science of The Total Environment*. 809:151998. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.151998.

Zhang, M. & Runkle, E.S. (2019) Regulating flowering and extension growth of poinsettia using red and far-red light-emitting diodes for end-of-day lighting. *HortScience*. 54:323-327. DOI 10.21273/HORTSCI13630-18.

Zhang, X., Yang, L., Xue, X., Kamran, M., Ahmad, I., Dong, Z., Han, Q. (2019) Plastic film mulching stimulates soil wet-dry alternation and stomatal behavior to improve maize yield and resource use efficiency in a semi-arid region. *Field Crops Research*. 233:101-113. DOI 10.1016/j.fcr.2019.01.002.

Zhang, X., Bian, Z., Yuan, X., Chen, X., Lu, C. (2020) A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. *Trends in Food Science & Technology*. 99:203-216. DOI 10.1016/j.tifs.2020.02.031.

Zhou, X., Tan, Z., Zhou, Y., Guo, S., Sang, T., Wang, Y., Shu, S. (2022) Physiological mechanism of strigolactone enhancing tolerance to low light stress in cucumber seedlings. *BMC Plant Biology*. 22:1-17. DOI 10.1186/s12870-021-03414-7.