

DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA DO LÚPULO EM REGIÃO DE
CLIMA TROPICAL

JÉSSICA BROSEGHINI LOSS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MAIO - 2023

DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA DO LÚPULO EM REGIÃO DE
CLIMA TROPICAL

JÉSSICA BROSEGHINI LOSS

“Tese 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 Doutora em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Elias Fernandes de Sousa

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MAIO - 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

L881

Loss, Jéssica Broseghini.

Demanda hídrica da cultura do lúpulo em região de clima tropical / Jéssica Broseghini Loss. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

99 f. : il.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2023.

Orientador: Elias Fernandes de Sousa.

Coorientador: Claudinei Martins Guimarães.

1. Agricultura irrigada. 2. Coeficiente de estresse hídrico. 3. Fluxo de seiva xilemática. 4. *Humulus lupulus* L.. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

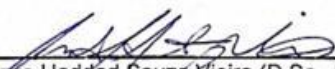
DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA DO LÚPULO EM REGIÃO DE
CLIMA TROPICAL

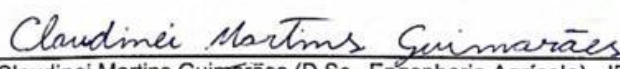
JÉSSICA BROSEGHINI LOSS

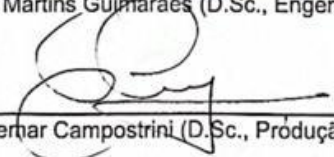
"Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Produção Vegetal"

Aprovada em 08 de maio de 2023

Comissão Examinadora:


Prof. Gustavo Haddad Souza Vieira (D.Sc., Engenharia Agrícola) - IFES


Prof. Claudinei Martins Guimarães (D.Sc., Engenharia Agrícola) - IFGoiano


Prof. Elietnar Campostrini (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF


Prof. Elias Fernandes de Sousa (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientador)

A Deus.
Aos meus pais, Delormi Broseghini e José Roque Loss;
Dedico e ofereço.

AGRADECIMENTO

A Deus, por todas as bênçãos recebidas e por sua proteção;

Aos meus pais, por terem acreditado no meu sonho, pelo auxílio nos momentos de necessidade e compreensão nos momentos de ausência;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) pela oportunidade de cursar o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa;

Ao meu orientador, Dr. Elias Fernandes de Sousa, pelos ensinamentos, confiança, paciência, incentivo, por todo esforço e dedicação para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao meu coorientador, Dr. Claudinei Martins Guimarães, pelas sugestões e colaboração na produção do artigo;

Ao professor Dr. Silvio de Freitas por ceder a casa de vegetação para realização da pesquisa, e aos seus orientados, Francielle e Waldinei, pelas contribuições;

Ao professor Dr. Eliemar Campostrini por ceder alguns dos equipamentos utilizados nas avaliações, e aos seus orientados, Guilherme e Wallace, pelas contribuições;

Aos funcionários da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, em especial Detony Petri, por todo suporte na condução da pesquisa;

Ao gerente da Brava Terra Lúpulo, José Mário, pelos conhecimentos compartilhados sobre a cultura;

Aos colegas do LEAG Bárbara, Elton, Jean e João Pedro pelas sugestões e ajuda nas avaliações;

Aos professores participantes da banca examinadora de qualificação e defesa da tese, Dr. Albanise Barbosa Marinho, Dr. Claudinei Martins Guimarães, Dr. Eliemar Campostrini, Dr. Geraldo de Amaral Gravina e Dr. Gustavo Haddad Sousa Vieira, pelas valiosas colaborações e sugestões de melhoria;

Aos queridos amigos Bruna Gomes, Daniel Gomes, Daniely Gomes, Guilherme Peterle, Jean Galote, Maria Cecília Fonseca Scarpi e Nathan Breda Aguiar, pela amizade, conversas, desabafos e sobretudo pelos momentos de descontração;

A todos que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento da tese.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A cultura do lúpulo	4
2.2 Demanda hídrica da cultura	6
2.3 Estresse hídrico	7
2.4 Medição do fluxo de seiva xilemática	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Localização, material vegetal e condições experimentais	11
3.2 Primeiro ciclo produtivo da cultura	14
3.2.1 Condições meteorológicas	15
3.2.2 Variáveis avaliadas	18
3.3 Segundo ciclo produtivo da cultura	22
3.3.1 Condições meteorológicas	24
3.3.2 Sensor de fluxo de seiva xilemática	26
3.3.3 Coeficiente de estresse hídrico (CEH)	28
3.3.4 Variáveis avaliadas	31

3.4 Terceiro ciclo produtivo da cultura	32
3.4.1 Condições meteorológicas	33
3.4.2 Sensor de fluxo de seiva xilemática	36
3.4.3 Coeficiente de estresse hídrico (CEH)	36
3.4.4 Variáveis avaliadas	36
3.5 Análises estatísticas.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Primeiro ciclo produtivo da cultura	39
4.1.1 Lâminas aplicadas, drenadas e transpiradas	39
4.1.2 Diâmetro de caule	40
4.1.3 Altura de planta	41
4.1.4 Massa seca de caule e folhas	42
4.1.5 Área Foliar.....	42
4.1.6 Índice SPAD.....	43
4.1.7 Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) e índice fotossintético (PI)	44
4.1.8 Número e massa seca de inflorescências.....	45
4.2 Segundo ciclo produtivo da cultura	47
4.2.1 Lâminas aplicadas, drenadas e transpiradas	47
4.2.2 Diâmetro de caule	48
4.2.3 Altura de planta	49
4.2.4 Massa seca de caule e folhas	50
4.2.5 Área Foliar.....	51
4.2.6 Índice SPAD.....	52
4.2.7 Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) e índice fotossintético (PI)	52
4.2.8 Número e massa seca de inflorescências.....	54
4.2.9 Fluxo de seiva xilemática	56

4.2.10 Coeficiente de estresse hídrico (CEH)	59
4.3 Terceiro ciclo produtivo da cultura	61
4.3.1 Lâminas aplicadas, drenadas e transpiradas	62
4.3.2 Diâmetro de caule	62
4.3.3 Altura de planta	63
4.3.4 Massa seca de caule e folhas	64
4.3.5 Área Foliar.....	65
4.3.6 Índice SPAD	65
4.3.7 Condutância estomática.....	66
4.3.8 Massa seca e volume de raiz.....	67
4.3.9 Relação massa seca de raiz por massa seca da parte aérea.....	68
4.3.10 Número e massa seca de inflorescências.....	69
4.3.11 Fluxo de seiva xilemática	70
4.3.12 Coeficiente de estresse hídrico (CEH)	73
5. RESUMO E CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

RESUMO

LOSS, Jéssica Broseghini; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; maio de 2023; Demanda hídrica da cultura do lúpulo em região de clima tropical; Orientador: Elias Fernandes de Sousa; Coorientador: Claudinei Martins Guimarães.

Estudos e dados técnicos sobre o cultivo do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) nas condições edafoclimáticas do Brasil ainda são escassos, visto que se trata de uma cultura incipiente. O conhecimento das necessidades hídricas, no adequado manejo da irrigação, é indispensável para o aumento da produtividade e qualidade das inflorescências. Neste contexto, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar a influência de turnos de rega sob o desenvolvimento e produtividade da cultura do lúpulo, cultivar Cascade, bem como determinar o fluxo de seiva xilemática, por meio de sensores térmicos, relacionando-o com o *status* hídrico das plantas. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no município de Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, no período de setembro de 2021 a junho de 2022, onde foram avaliados três ciclos produtivos da cultura. Os experimentos foram instalados no delineamento em blocos casualizados (DBC), com seis repetições. Nos dois primeiros experimentos, que compreenderam os dois primeiros ciclos produtivos da cultura, foram adotados os tratamentos TR2- Turno de rega de 2 dias, TR4- Turno de rega de 4 dias, TR6- Turno de rega de 6 dias, TR8- Turno de rega de 8 dias e TR10- Turno de rega de 10 dias. No terceiro experimento, referente ao terceiro ciclo produtivo, os turnos de

rega foram reduzidos para a metade, sendo: TR1- Turno de rega de 1 dia, TR2- Turno de rega de 2 dias, TR3- Turno de rega de 3 dias, TR4- Turno de rega de 4 dias e TR5- Turno de rega de 5 dias. Nos dois primeiros ciclos produtivos foram avaliados os parâmetros fisiológicos e morfológicos: diâmetro de caule, altura de planta, massa seca de caule, massa seca de folhas, área foliar, índice SPAD, rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m), índice fotossintético (PI), número de inflorescências e massa seca de inflorescências. No terceiro ciclo produtivo foram avaliados: diâmetro de caule, altura de planta, massa seca de caule, massa seca de folhas, área foliar, índice SPAD, condutância estomática, volume de raiz, massa seca de raiz e relação massa seca de raiz por massa seca de parte aérea. O fluxo de seiva xilemática foi estimado no segundo e terceiro ciclos produtivos, para posterior estimativa do coeficiente de estresse hídrico (CEH). O aumento no intervalo entre as irrigações promove reduções no crescimento e produção da cultura do lúpulo. Para as condições de cultivo do primeiro e segundo ciclos produtivos o turno de rega de dois dias é o mais indicado para o manejo da irrigação. Para as condições de cultivo do terceiro ciclo produtivo, é recomendado o turno de rega de um dia.

ABSTRACT

LOSS, Jéssica Broseghini; D.Sc.; State University of Northern Fluminense Darcy Ribeiro; may 2023; Water demand of hop culture in a tropical climate region; Advisor: D.Sc. Elias Fernandes de Sousa; Co-advisor: D.Sc. Claudinei Martins Guimarães.

Studies and technical data on the cultivation of hops (*Humulus lupulus* L.) in the edaphoclimatic conditions of Brazil are still scarce, since it is an incipient crop. Knowledge of water needs, in the proper management of irrigation, is essential to increase the productivity and quality of inflorescences. In this context, the objective of the present research was to evaluate the influence of irrigation shifts on the development and productivity of the hop crop, cultivar Cascade, as well as to determine the xylem sap flow, through thermal sensors, relating it to the water status of plants. The experiments were conducted in a greenhouse, at the State University of Northern Fluminense Darcy Ribeiro, in the municipality of Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil, from September 2021 to June 2022, where three productive cycles of the crop were evaluated. The experiments were installed in a randomized block design (RBD), with six replications. In the first two experiments, which comprised the first two productive cycles of the crop, the treatments TR2- 2 day irrigation shift, TR4- 4 day irrigation shift, TR6- 6 day watering shift, TR8- 8 day watering and TR10- 10 day watering shift. In the third experiment, referring to the third production cycle, the irrigation shifts were reduced by half, as follows: TR1- 1 day irrigation shift, TR2- 2 day irrigation shift, TR3- 3 day irrigation shift, TR4- 4 day

watering shift and TR5- 5 day watering shift. In the first two production cycles, the physiological and morphological parameters were evaluated: stem diameter, plant height, stem dry mass, leaf dry mass, leaf area, SPAD index, maximum PSII quantum yield (F_v/F_m), photosynthetic index (PI), number of inflorescences and dry mass of inflorescences. In the third production cycle, stem diameter, plant height, stem dry mass, leaf dry mass, leaf area, SPAD index, stomatal conductance, root volume, root dry mass and shoot dry mass to mass ratio were evaluated. root dry. The xylem sap flow was estimated in the second and third production cycles, for later estimation of the water stress coefficient (CWS). The increase in the interval between irrigations promotes reductions in the growth and production of the hop crop. For the cultivation conditions of the first and second productive cycles, the two-day irrigation shift is the most suitable for irrigation management. For the cultivation conditions of the third productive cycle, a one-day irrigation shift is recommended.

1. INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta herbácea, nativa das regiões de clima temperado do hemisfério norte, pertencente à família Cannabaceae (Rossini et al., 2021). Embora tenha destaque na indústria farmacêutica, por inúmeras propriedades medicinais, cerca de 97% do lúpulo cultivado é destinado a indústria cervejeira, como ingrediente que confere aroma e amargor à bebida (Durello et al., 2019).

Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de cervejas (Ramos e Pandolfi, 2019). Porém, quase todo o lúpulo utilizado pela indústria cervejeira brasileira provém de importações, principalmente dos Estados Unidos e Alemanha, os quais são os maiores produtores mundiais de lúpulo, com produção aproximada de 51,0 e 48,5 mil toneladas por ano (FAOSTAT, 2021).

A alta produção alcançada por esses países está relacionada às condições de cultivo, destacando-se, durante o período de crescimento, temperaturas amenas e o maior fotoperíodo (15 a 18 horas diárias) (Van Cleemput et al., 2009). Em função dessas condições, acreditava-se que a cultura não se estabeleceria bem em clima tropical. No entanto, iniciativas de produção em diferentes regiões do Brasil, mostram-se altamente responsivas, criando expectativas de autossuficiência do país na produção desta matéria-prima da indústria cervejeira (Durello et al., 2019).

No Brasil o cultivo de lúpulo é recente, e advém, em sua maioria, de iniciativas de agricultores em pequena escala. De acordo com o levantamento realizado pela Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo (Aprolúpulo), o país

alcançou, em 2021, uma produção total de aproximadamente 24 toneladas (Aprolúpulo, 2022).

Por tratar-se de uma cultura incipiente, os estudos e dados técnicos ainda são escassos para o cultivo de lúpulo nas condições edafoclimáticas do Brasil, com carência de informações desde os custos de implantação, até coeficientes técnicos de cultivo. Os investimentos em pesquisas, e as novas tecnologias no cultivo do lúpulo são fundamentais, devido ao grande potencial dessa cultura no agronegócio brasileiro. Estes investimentos possibilitam melhoria da produtividade e qualidade das inflorescências e conseqüente redução da dependência ao mercado externo.

O fornecimento adequado de água é necessário para o ótimo crescimento e alta produtividade da cultura do lúpulo. As regiões de maior produção mundial de lúpulo passam por longos períodos de estiagem, principalmente nas fases de maior demanda da cultura, quando há o desenvolvimento e a formação das inflorescências, tornando a irrigação uma prática indispensável (Graf et al., 2019).

O intervalo entre as irrigações, o conhecimento preciso da demanda hídrica da cultura e a resposta da planta à irrigação variam de acordo com a cultivar, as características de solo e as demais condições edafoclimáticas da região. Sendo assim, práticas a serem adotadas devem ter embasamento em pesquisas locais para cada cultivar e não em práticas de sucesso em outras regiões (Bernardo et al., 2009).

Dentre os diversos métodos que podem ser aplicados para determinação do consumo de água pelas plantas, destaca-se a medição da transpiração, a partir da avaliação do movimento de seiva no interior do caule. As estimativas de transpiração são fundamentais para compreensão de processos fisiológicos da planta e da dinâmica do fluxo transitório de água no sistema solo-planta-atmosfera (Granier, 1985). As reduzidas mudanças no perfil do fluxo de seiva xilemática, induzidas pelo estresse hídrico, podem ser sugeridas como indicadores na tomada de decisão de quando se aplica a irrigação (Fernández et al., 2008).

Nas últimas décadas, as pesquisas relacionadas à medição do fluxo de seiva xilemática, por meio de razão de calor, aumentaram expressivamente. Nesses métodos, certa quantidade de energia é aplicada em uma determinada região da planta, a qual é formada por uma porção sólida e outra fluida. A energia aplicada aquece a porção sólida, causando aumento na temperatura, e parte dessa

energia é transmitida para a porção fluida, levando-a ao movimento (Almeida, 2012).

Assim, aplicando determinada quantidade de calor a um segmento da planta e acompanhando a variação do calor no percurso, pode-se inferir sobre o fluxo da seiva xilemática (FSX), que por sua vez, pode refletir na taxa de transpiração. Em intervalos curtos de tempo, esses métodos em que se usam o calor como “traçador do trajeto”, possibilitam um monitoramento individualizado e contínuo da água na planta. Estas técnicas são consideradas uma ferramenta potencial para o manejo da irrigação, pois refletem as interações entre a quantidade de água disponível no solo e a demanda atmosférica (Ortuño et al., 2006).

Diante do exposto, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar a influência de diferentes turnos de rega no crescimento e produtividade da cultura do lúpulo, cultivar Cascade, bem como quantificar o fluxo de seiva xilemática, por meio de sensores de balanço térmico aderidos às plantas, e relacionar este FSX com o *status* hídrico das plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta perene, trepadeira, herbácea, dioica, anemófila, pertencente à família Cannabaceae, nativa das regiões de clima temperado do hemisfério norte. No mundo, as principais regiões produtoras de lúpulo estão localizadas entre as latitudes de 35° e 55° norte (Brito et al., 2018).

Apesar de ser considerada uma planta perene, a parte aérea apresenta uma resposta de planta anual. Nas zonas de clima temperado, o crescimento vegetativo e a produção ocorrem ao longo da primavera, verão e início do outono, no final do outono e início do inverno a parte aérea entra em senescência e a planta entra em dormência, fechando o ciclo anual (Leite e Pandolfo, 2022).

O caule é hexagonal, piloso, oco, com coloração verde, ou violeta, em condições de frio. O crescimento ocorre em sentido dextrogiro, dependendo da variedade, pode alcançar de quatro a dez metros de altura. No início da fase de crescimento, o caule é herbáceo, mas com o crescimento ao longo do tempo, na parte inferior, o caule torna-se lignificado. Durante o período de crescimento mais intensivo, pode-se ter um ganho em torno de 0,25 m por dia (Marcos et al., 2011).

As folhas crescem a partir das estípulas presentes no caule, e de forma oposta nos nós (Marcos et al., 2011). As folhas da mesma planta apresentam formas diferentes, sendo pentalobuladas na base, trilobuladas na parte média e inteiras na parte superior, e podem ter as margens serradas ou lobadas e a superfície é pilosa (Rodrigues et al., 2015). As folhas possuem estômatos somente na face inferior, com uma média de 400 estômatos por mm² (Spósito et al., 2019).

Dependendo do tipo de solo, as raízes crescem a uma profundidade de 1,5 m, porém concentram-se na faixa de 0,20 m a 0,30 m. O sistema radicular é composto por raízes verdadeiras, com função de fixação da planta no solo e absorção de água e nutrientes minerais, e de rizomas, que acumulam substâncias de reservas. Os rizomas crescem próximo à superfície do solo, são grossos e suculentos, e possuem gemas que originam as novas raízes e brotos (Spósito et al., 2019).

As flores das plantas masculinas são pequenas e se agrupam em panículas, com um perianto formado por cinco sépalas de coloração verde amarelado e cinco anteras com filamentos curtos (Marcos et al., 2011). As flores femininas se desenvolvem nos ramos secundários, formados a partir de gemas localizadas nas axilas das folhas. Estas folhas são espigas curtas e apresentam uma ráquis central que suporta várias brácteas. Quando estas inflorescências maduram, o eixo central se engrossa, as brácteas e bractéolas se ampliam, produzindo o estróbilo, também conhecido como cone (Rodrigues et al., 2015).

O estróbilo possui estruturas glandulares que armazenam a lupulina, que é uma substância que contém grandes quantidades de óleos essenciais, resinas e polifenóis (Pistelli et al., 2018). A maior quantidade de lupulina é encontrada nas inflorescências femininas não fertilizadas, estas possuem aproximadamente 10.000 glândulas de lupulina por inflorescência, sendo assim, em plantios comerciais são cultivadas apenas plantas femininas (Spósito et al., 2019).

O lúpulo cresce e floresce em uma ampla faixa de fotoperíodo, o que permite que seja cultivado em diferentes latitudes. Porém, o maior fotoperíodo na fase vegetativa proporciona maior crescimento e desenvolvimento do dossel, levando a maiores produções (Leite e Pandolfo, 2022).

Nas latitudes mais altas (regiões de clima temperado), as mudanças na duração do dia, com horas de radiação solar se reduzindo a partir do solstício de verão, fornecem o sinal para que a planta cesse o crescimento vertical e inicie a diferenciação das gemas que se encontram nas axilas das folhas, com desenvolvimento de ramos laterais com folhas e inflorescências (Spósito et al., 2019).

Em relação à temperatura, Eriksen et al. (2020), analisando o efeito de temperaturas sobre a capacidade fotossintética do lúpulo, concluíram que a faixa entre 21°C e 39°C é a ideal para o ótimo crescimento da cultivar Cascade, visto

que as plantas alcançam a máxima assimilação de carbono. Em temperaturas acima de 41°C essa assimilação é reduzida.

O ciclo produtivo do lúpulo está diretamente relacionado aos fatores climáticos. Por ser uma planta em que o cultivo até então era restrito às condições de clima temperado, as características de cultivo foram estabelecidas para essas regiões. Nas condições climáticas do Brasil observam-se tempos de produção distintos das regiões produtoras tradicionais, com precocidade e encurtamento das fases fenológicas, pela aceleração do metabolismo (Mozny et al., 2009). Diante disto, são necessários estudos aprofundados para identificação das fases fenológicas da cultura e as transições nas respectivas condições climáticas.

2.2 Demanda hídrica da cultura

Devido à alta exigência de água pela cultura, vários autores relatam que a irrigação é de extrema importância para alcançar altas produtividades e qualidade de inflorescências no cultivo de lúpulo. Contudo, não há estudos que façam uma análise aprofundada da demanda hídrica desta espécie (Fandiño et al., 2015). Segundo Skomra (2015), a demanda hídrica durante o ciclo fica entre 500 e 600 mm, sendo que déficits menores de 300 mm são prejudiciais para a cultura.

Segundo Turner et al. (2011), a determinação da necessidade hídrica do lúpulo depende das condições de clima do local. Segundo os mesmos autores, a aplicação de 700 a 800 mm de água durante o período de crescimento da cultura é típica em climas áridos, mas o tempo de irrigação e a necessidade podem variar entre os locais.

Na região do vale de Yakima, no estado de Washington (EUA), o consumo hídrico da cultura varia de 610 a 712 mm ciclo⁻¹. As pesquisas da Universidade Estadual de Washington relatam que 75 a 80% do uso total da água pela cultura ocorre após meados de junho até agosto, fase de crescimento e produção (Evans, 2003).

Já estudos conduzidos por Fandiño et al. (2015) na região de Galícia, Espanha, demonstraram que a necessidade hídrica da cultura varia de 396 a 557 mm ciclo⁻¹. As diferenças em consumo de água entre essas regiões produtoras, se devem principalmente às diferenças em demanda atmosférica, como relatado anteriormente por Turner et al. (2011).

Segundo Spósito et al. (2019), nas regiões de clima temperado a demanda por água é relativamente pequena no início da primavera, período em que ocorrem as brotações. No fim da primavera e início do verão, quando se inicia a fase de crescimento dos ramos e folhas, floração e formação das inflorescências, ocorre um aumento da necessidade hídrica, fase em que ocorre a produção e o acúmulo dos compostos.

Nessa mesma linha, Potop (2014), na República Checa, avaliando em diferentes fases fenológicas da cultura, o efeito de eventos secos e úmidos sob a produção e qualidade de lúpulo, concluiu que o déficit hídrico durante os períodos de crescimento da cultura, acarretou um reduzido rendimento de inflorescências.

Apesar da alta exigência em água, o lúpulo não tolera solos encharcados. O excesso de água pode levar ao aparecimento de doenças, como míldio e podridão radicular. Apesar de apresentar raízes profundas, a maior parte do sistema radicular do lúpulo se concentra na parte superficial do solo. Devido a esse fato, Dodds (2017) destaca a importância de manter a camada de 0,60 m de profundidade úmida.

2.3 Estresse hídrico

A água é considerada como o principal fator ambiental da regulação do crescimento e desenvolvimento de uma planta. A limitação no solo, na planta e no ar deste fator ambiental pode comprometer as funções vitais ou estimular reações adaptativas que capacitem as plantas a sobreviverem por períodos longos de estresse hídrico (Silva et al., 2003).

O fluxo de água solo-planta-atmosfera depende da disponibilidade hídrica do solo e da condução da água pelos diferentes órgãos da planta até as folhas, onde ocorre a regulação do fluxo transpiratório. Quando a transpiração foliar é maior do que a absorção de água, considera-se que o solo está em condições de déficit hídrico (Santos e Carlesso, 1998).

A alta demanda atmosférica e/ou a baixa disponibilidade de água no solo podem acarretar déficit de água nos tecidos das plantas, limitando o crescimento e o desenvolvimento (Krieg, 1993). O controle de água na planta é realizado, em grande parte, pelos estômatos, onde a diferença na pressão de vapor entre o

ambiente e a planta pode modificar sua condutância estomática (Júnior et al., 2007).

Uma das primeiras reações da planta para manter o nível hídrico no interior dos tecidos é o fechamento dos estômatos, o que acarreta restrição nas trocas gasosas entre o interior da folha e a atmosfera. Tal fato, pode causar uma menor disponibilidade de CO₂ nos espaços intercelulares, reduzindo a assimilação de gás nos cloroplastos, e conseqüentemente reduzindo a assimilação fotossintética do carbono, o que pode afetar negativamente quase todos os processos fisiológicos da planta (Krieg, 1993).

A curto prazo, as perdas hídricas e o estado hídrico das folhas são controlados pela condutância estomática, enquanto no médio prazo os ajustamentos osmóticos e/ou elásticos podem manter o gradiente hídrico até as folhas, além da turgescência celular. A longo prazo, as plantas usam vários mecanismos para economizar água, como a modificação das taxas de crescimento, diminuição da área foliar, aumento da partição da biomassa das raízes, ou modificações na estrutura do xilema, para limitar os riscos de perda de condutância por cavitação (Carter e White, 2009).

O déficit hídrico também desencadeia uma rápida síntese, redistribuição e acumulação de ácido abscísico (ABA) na planta, o qual pode promover, por meio de sinais químicos, a comunicação das raízes com a parte aérea da planta, em decorrência da falta de água no solo. A elevação na concentração de ABA no apoplasto das células-guarda reduz a condutância estomática. O ABA também regula as características morfofisiológicas, influenciando nas respostas ao déficit hídrico, como exemplo a diminuição da expansão celular (Tuberosa et al., 1994).

Durante o déficit hídrico, os ajustamentos fisiológicos da planta determinam as respostas adaptativas de ordem anatômica e morfológica. Contudo, essas respostas variam de acordo com a espécie, cultivar, o estado de crescimento das plantas, como também, a duração e a intensidade do déficit hídrico (Levitt, 1980).

Segundo Santos e Carlesso (1998), as plantas crescidas em condições adequadas de água normalmente apresentam menos resistência a situações de déficit hídrico no solo. Já plantas submetidas ao déficit hídrico gradual ou à deficiência de água no solo no início do ciclo, tendem a uma melhor adaptação. A tolerância da planta ao déficit hídrico é um importante mecanismo de resistência,

para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água.

2.4 Medição do fluxo de seiva xilemática

No manejo racional da irrigação são aplicadas técnicas que visam a determinação da demanda hídrica das culturas, podendo detectar déficit hídrico. Essas técnicas de manejo podem ser baseadas em indicadores da planta, solo, clima ou pela combinação deles. As metodologias baseadas na própria planta são mais eficientes para detecção de déficit hídrico, quando comparadas a técnicas que fazem uso de fatores ambientais (Sobrinho, 2020).

Dentre as metodologias via planta, têm-se o estudo da transpiração, este é de extrema importância, pois reflete a influência dos condicionantes atmosféricos, da disponibilidade hídrica do solo e subsolo junto ao sistema radicular, da estrutura física da cobertura vegetal e de características morfológicas e mecanismos de resposta fisiológica que controlam a perda de água pelas folhas (Calder, 1990).

Técnicas que permitam quantificar a transpiração são muito úteis em estudos sobre relações hídricas, especialmente quando é possível avaliar plantas inteiras e não apenas frações de folhas. Quando pequenas porções de área foliar são amostradas, torna-se difícil extrapolar os resultados para toda a planta, pois existe uma variação no regime de temperatura e na radiação solar aos quais as folhas estão expostas, com efeito sobre a transpiração foliar (Marin et al., 2008).

Medições de fluxo de seiva no xilema, tem sido amplamente empregadas na determinação da transpiração em diversos estudos de espécies arbóreas e herbáceas, tendo como vantagem maior representatividade da medida em relação à planta considerada, além das medidas serem realizadas no campo, em tempo real, obtendo uma resposta automática e confiável da condição hídrica do solo (Ortuño et al., 2004). O fluxo de seiva que passa por determinado segmento de caule pode ser estimado fazendo uso de princípios físicos de transferência de calor (Sobrinho et al., 2020).

Os métodos térmicos mais utilizados são: velocidade do pulso de calor, que rastreia o movimento de um curto pulso de calor no fluxo de seiva (Cermák et al., 2004); balanço de calor, que mensura o movimento da seiva, pelo transporte de calor, para fora de uma fonte de calor controlada (Sakuratani, 1981); e dissipação

de calor, que relata a dissipação do calor pelo fluxo de seiva por meio de uma relação empírica (Granier, 1985).

O método do balanço de calor destaca-se perante as outras técnicas por ser um método absoluto e que dispensa procedimentos de calibração, e exige equipamentos relativamente simples, sendo a construção de sensores relativamente fácil e de baixo custo. Sua aplicação tem aumentado nos últimos anos, em decorrência da maior facilidade de importação de material e equipamentos e do uso mais disseminado dos sistemas automáticos de aquisição de dados (Marin et al., 2008).

O cálculo do fluxo de seiva baseia-se no aquecimento de um segmento de caule, ramo ou colmo, por uma fonte de calor. O calor perdido em cada intervalo de tempo, tanto em condição radial quanto axial, é subtraído pela potência fornecida, obtendo-se o calor transportado convectivamente pela seiva (Sakuratani, 1981). Para quantificação do calor, são obtidas medidas de temperatura do caule, por meio de termopares, posicionados na superfície do caule ou introduzidos no interior do mesmo (Marin et al., 2008).

Dentre os cuidados na instalação desses equipamentos, têm-se a correta colocação dos termopares, responsáveis pelas medições de variações de temperatura no caule, de forma a possibilitar um ótimo contato entre o sensor e a superfície do caule, e o isolamento térmico, para evitar flutuação de temperatura do ambiente e incidência direta de radiação no tronco, próximo ao volume amostrado (Sobrinho et al., 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, material vegetal e condições experimentais

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), na cidade de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil, localizada a $21^{\circ}45'42''\text{S}$, $41^{\circ}17'14''\text{O}$ e a 8 m de altitude.

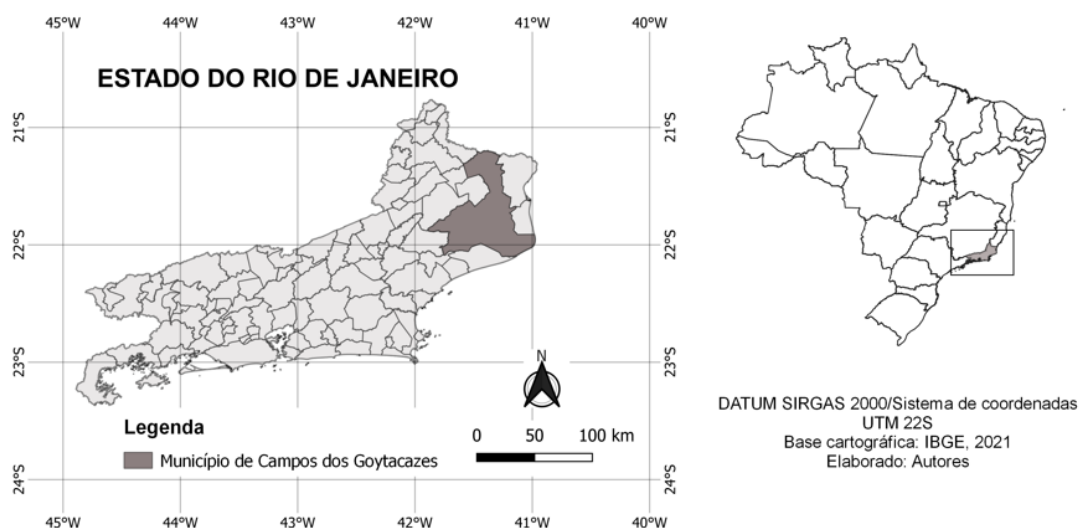


Figura 1. Mapa de localização do município de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

As mudas foram obtidas a partir de plantas matrizes, da cultivar Cascade, com aproximadamente dois anos de idade, cultivadas em casa de vegetação na UENF. Nos primeiros horários da manhã, foram coletadas hastes jovens e imediatamente confeccionadas as estacas da região mediana, com cerca de 60 mm de comprimento e um par de folhas, com a área reduzida a 50%, sendo cortados em bisel na extremidade superior (10 mm da gema) e horizontalmente na extremidade inferior.

As estacas receberam tratamento fitossanitário com hipoclorito de sódio, a 0,5%, durante 10 minutos. Em seguida, foram lavadas em água corrente para total remoção. A base das estacas foi tratada com ácido indolbutírico (AIB) na concentração de 6.050 ppm, via talco (Figura 2A), e então foram dispostas em sacos de polietileno, com capacidade de 260 cm³, contendo o substrato comercial Basaplant®.

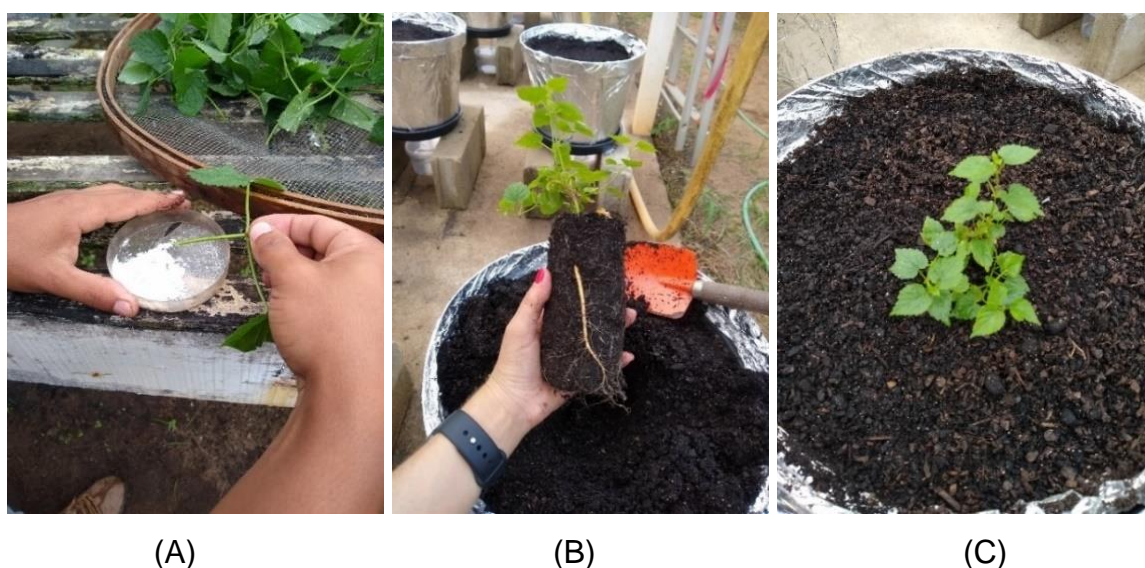


Figura 2. (A) Tratamento das estacas com AIB; (B) Transplântio das mudas de lúpulo, cv. Cascade; (C) Muda recém-transplantada.

As mudas com 103 dias de idade, apresentando altura média de 100 mm e contendo cerca de 25 folhas, foram transplantadas em 21 de setembro de 2021 para vasos plásticos com capacidade de 30 L, contendo o substrato comercial Basaplant®. Este substrato é composto por casca de pinus, turfa, carvão e

vermiculita, e apresenta, segundo o fabricante, umidade máxima de 50% (base peso), capacidade de retenção de água em torno de 150%, densidade de 350 kg m⁻³ e pH 5,8. O fertilizante orgânico composto GR Agrária® foi adicionado ao substrato, na proporção 3:1, respectivamente, e este é constituído por poda urbana triturada, conteúdo ruminal bovino e sangue bovino, e apresenta, segundo o fabricante, umidade máxima de 40% (base peso) e pH 6,0 (Figuras 2B e 2C).

Os vasos foram envolvidos externamente com papel alumínio e cobertos com manta térmica aluminizada de 0,130 mm de espessura, com o intuito de diminuir o aquecimento e evitar perdas de água por evaporação no substrato. Com o auxílio de blocos de concreto, os vasos foram suspensos a 0,19 m de altura do solo, sendo dispostos sobre pratos plásticos conectados por meio de mangueiras siliconadas a recipientes plásticos vedados, com capacidade de 1 L, localizados abaixo dos vasos, de forma a permitir a coleta da água drenada (Figura 3).



Figura 3. Disposição dos vasos, sob pratos plásticos, suspensos por blocos de concreto e abaixo recipientes para coleta da água drenada.

Os tratos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do lúpulo (Spósito et al., 2019; Aquino et al., 2022). Para tanto, realizou-se o controle natural para pragas e doenças de

forma preventiva, visto que não existiam produtos fitossanitários registrados para a cultura no Brasil.

Para o combate de pragas, utilizou-se óleo de Neem comercial AGRONEEM®, sendo as aplicações realizadas semanalmente, sempre as 17h00min, com auxílio de pulverizador manual de compressão. As adubações potássicas e nitrogenadas foram realizadas em cobertura, utilizando cloreto de potássio e ureia, na concentração de 3,0 g L⁻¹ de água, em intervalos de 20 dias.

3.2 Primeiro ciclo produtivo da cultura

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), composto por cinco tratamentos: TR2- Turno de rega de 2 dias, TR4- Turno de rega de 4 dias, TR6- Turno de rega de 6 dias, TR8- Turno de rega de 8 dias e TR10- Turno de rega de 10 dias, e seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais, representadas por uma planta cultivada por vaso, conforme apresentado no croqui experimental, na Figura 4.

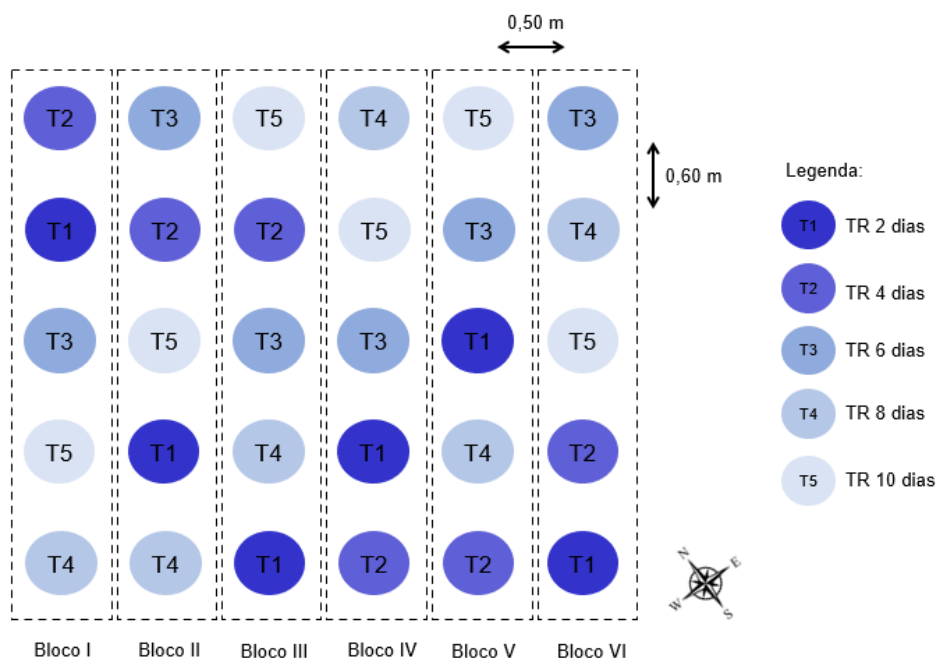


Figura 4. Croqui experimental do primeiro ciclo produtivo, em detalhe: tratamentos, blocos, espaçamento entre linhas (0,60 m) e entre plantas (0,50 m).

Seis hastes por planta, foram conduzidas verticalmente, tutoradas em dois barbantes presos em arame galvanizado de 1,45 mm de diâmetro, sendo estes fixados horizontalmente e paralelos as linhas de cultivo, a uma altura de 2,90 m em relação ao solo. A irrigação das plantas foi realizada de forma manual e diariamente, mantendo o substrato próximo à capacidade de campo até a aplicação dos tratamentos.

A aplicação dos tratamentos iniciou-se em 22 de outubro de 2021, 31 dias após o transplante (DAT), e as irrigações foram realizadas ao final da tarde, com auxílio de um becker. Para tanto, foi aplicado um volume de água conhecido, suficiente para saturar o substrato. O volume de água drenado foi coletado e aferido na manhã do dia seguinte a irrigação, com o auxílio de uma proveta.

A diferença entre o volume de água aplicado e o volume de água drenado, representou o consumo de água pela planta. Cada tratamento recebeu um volume de irrigação próprio, corrigido a cada irrigação, com base no consumo de água das plantas na irrigação anterior.

3.2.1 Condições meteorológicas

Do dia 21 de setembro a 06 de dezembro de 2021, que corresponde ao período de 0 a 76 DAT, foram coletadas as variáveis meteorológicas temperatura do ar (T) (°C) e umidade relativa do ar (UR) (%) no interior da casa de vegetação, por meio de um sensor modelo Hobo® (Onset Computer, Bourne, EUA). Os valores das variáveis foram armazenados em intervalos de 60 minutos, sendo calculadas as médias diárias (Figuras 5A e 5B).

O déficit de pressão de vapor do ar (DPVar) (kPa) (Figura 5C) foi calculado pelo método de Penman-Monteith e os procedimentos sugeridos pelo boletim N°56 da FAO, por meio das Equações 1 a 3.

$$DPVar = es - ea \quad (1)$$

em que:

$DPVar$ = déficit da pressão de vapor no ar, em kPa;

e_s = pressão de saturação de vapor, em kPa; e

e_a = pressão parcial de vapor, em kPa.

A pressão de saturação de vapor foi calculada por meio da Equação 2.

$$e_s = 0,6108 \exp \frac{(17,27 T)}{(T + 237,3)} \quad (2)$$

em que:

e_s = pressão de saturação de vapor, em kPa; e

T = temperatura média diária, em °C.

A pressão parcial de vapor foi calculada por meio da Equação 3.

$$e_a = e_s \frac{UR}{100} \quad (3)$$

em que:

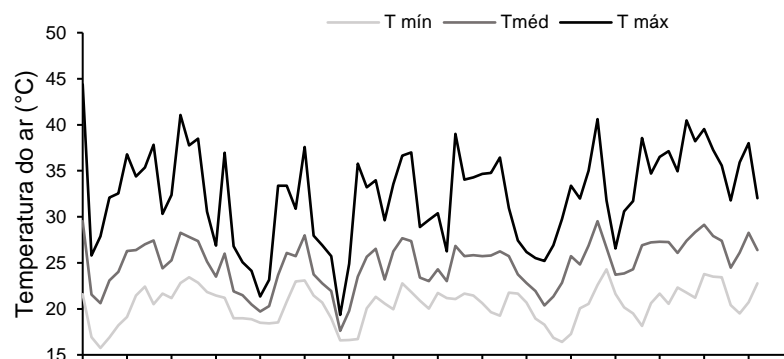
e_a = pressão parcial de vapor, em kPa;

e_s = pressão de saturação de vapor, em kPa; e

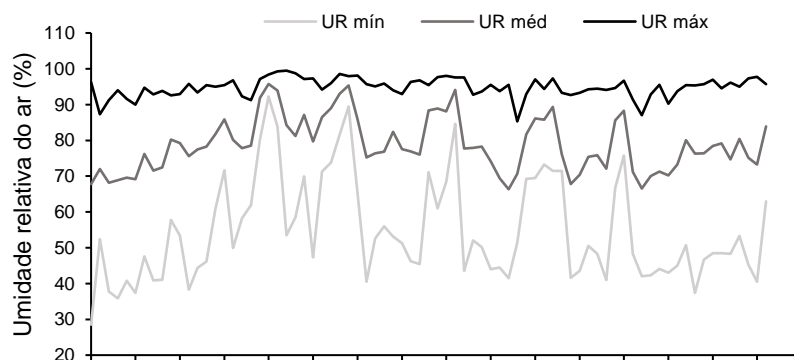
UR = umidade relativa do ar, em %.

A temperatura média diária do ar oscilou entre 17,61°C e 29,52°C. A temperatura máxima chegou aos 44,38°C (0 DAT), enquanto a temperatura mínima atingiu 15,74°C (2 DAT). A umidade relativa média diária do ar variou entre 66,34 e 95,75%. O déficit de pressão de vapor do ar apresentou valor médio diário em torno de 0,85 kPa, com valor máximo registrado de 6,67 kPa (0 DAT).

A



B



C

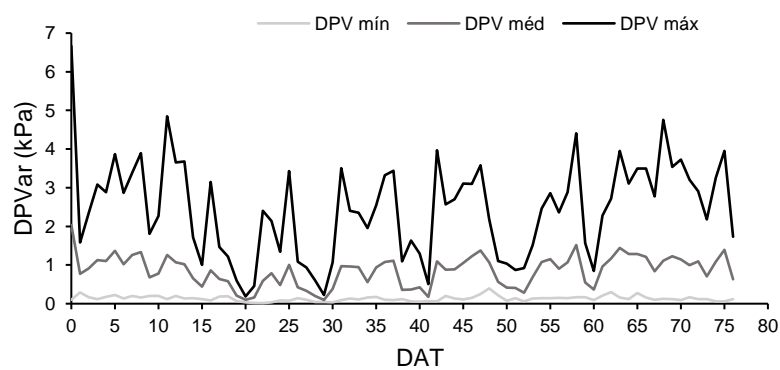


Figura 5. (A) Valores diários de temperatura máxima, média e mínima do ar (C°); (B) Valores diários de umidade relativa máxima, média e mínima do ar (%); (C) Valores diários de déficit de pressão de vapor máximo, médio e mínimo do ar (kPa), no interior da casa de vegetação, no período de 21/09/2021 a 06/12/2021 (0 a 76 DAT).

3.2.2 Variáveis avaliadas

3.2.2.1 Diâmetro de caule

As avaliações de diâmetro de caule (DC) (mm) iniciaram-se aos 42 DAT (12 dias após a aplicação dos tratamentos DAAT), repetindo-se em intervalos de 10 dias, com auxílio de paquímetro digital (MTX®, China), com 0,02 mm de precisão, a uma altura de 0,60 m em relação ao substrato, onde foi selecionada e identificada uma haste por planta, sendo todas as avaliações posteriores realizadas na mesma haste (Figura 6A).

3.2.2.2 Determinação do índice SPAD

A determinação do índice SPAD foi realizada aos 64 DAT (33 DAAT), utilizando medidor portátil de clorofila, modelo SPAD-502 (Minolta®, Japão). Para tanto, foi selecionada uma folha por planta, localizada no terço médio, sendo realizadas três medições na porção central do limbo foliar (Figura 6B).

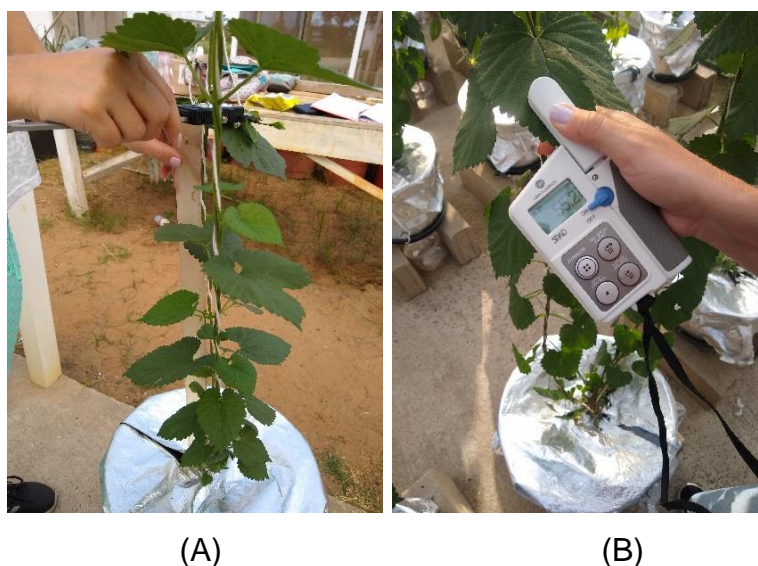


Figura 6. (A) Medição de diâmetro de caule, a 0,60 m de altura em relação ao substrato; (B) Avaliação do índice SPAD, com medidor portátil de clorofila SPAD-502.

3.2.2.3 Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) e índice fotossintético (PI)

As avaliações de rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) e índice fotossintético (PI) foram realizadas aos 64 DAT (33 DAAT), por meio de fluorímetro Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Inglaterra), às 07h00min e 12h00min. Uma folha por planta, localizada no terço médio, foi adaptada ao escuro por 30 minutos, de forma que todos os centros de reação do PSII adquirissem a condição de “abertos” (Strauss et al., 2006).

A adaptação ao escuro foi realizada numa área circular do limbo foliar, com aproximadamente quatro milímetros de diâmetro, por meio de pinças. As pinças possuem um sistema de janelas, que permite o fechamento, para a adaptação ao escuro, e a abertura, para medição (Figura 7A). Após a adaptação, as folhas foram expostas a um pulso de luz saturante ($3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo registrados automaticamente os valores da fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v), rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e índice fotossintético (PI) (Figura 7B).

A F_0 é medida sob baixa intensidade de luz e representa a fluorescência quando a quinona A (Q_A) (quinona receptora primária de elétrons do PSII) está totalmente oxidada e o centro de reação do PSII está aberto, situação iminente à ativação das reações fotoquímicas. A F_m é medida a partir da aplicação de um pulso de luz saturante, que é considerado capaz de reduzir todos os centros de reação e indica a completa redução da Q_A . A diferença entre F_m e F_0 resulta na fluorescência variável (F_v).

O rendimento quântico máximo é calculado pela relação $F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$, este indica qual a proporção de luz que foi absorvida pela clorofila associada ao PSII utilizada em atividade fotoquímica, ou seja, informa a quantidade de elétrons transportados sendo um indicativo da fotossíntese (Krause e Weis, 1991).

O índice fotossintético (PI) é uma variável de extrema importância, quando se objetiva estudar o desempenho fotossintético das plantas, uma vez que integra três componentes: densidade dos centros de reação ativos, eficiência no transporte de elétrons após a Q_A ter sido reduzida e a probabilidade de que um fóton absorvido seja capaz de reduzir Q_A . A avaliação desses componentes permite verificar as atividades do PSII e PSI (Strasser et al., 2000).

3.2.2.4 Altura de planta

A avaliação de altura de planta (AP) (m) foi realizada aos 76 DAT (45 DAAT), último dia do primeiro ciclo produtivo. O caule foi cortado a uma altura de 0,05 m em relação ao substrato e com o auxílio de uma trena, foi mensurada a altura, da extremidade inferior até a gema apical (Figura 7C).

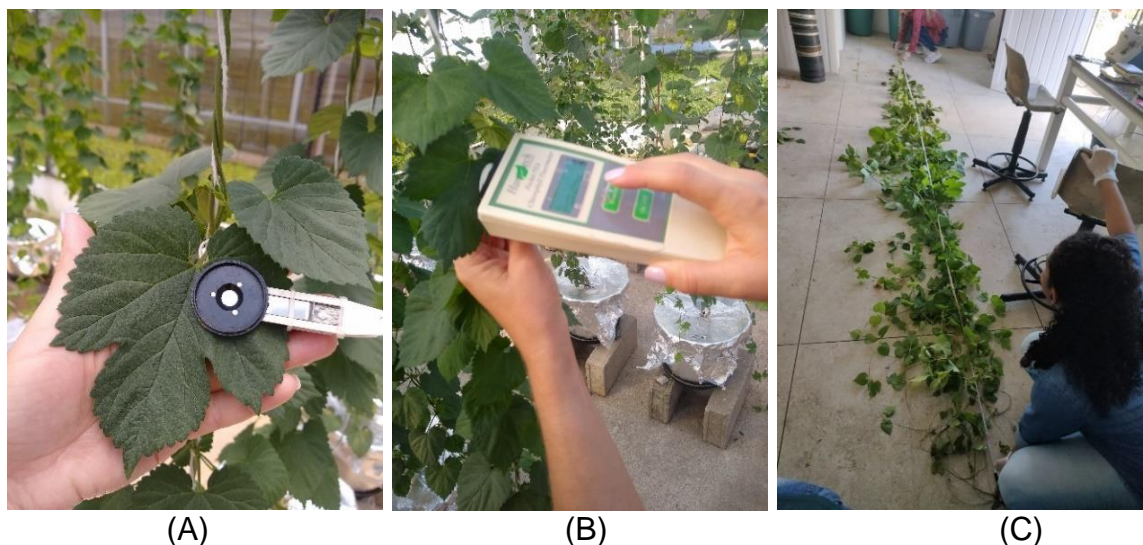


Figura 7. (A) Adaptação da folha ao escuro, com o auxílio de pinças; (B) Leitura dos valores de F_v/F_m e PI, por meio de fluorímetro Pocket PEA; (C) Medição de altura de planta, da base até a gema apical.

3.2.2.5 Número e massa seca de inflorescências

A colheita das inflorescências foi realizada aos 76 DAT (45 DAAT), de forma manual. A fim de melhor caracterizar os estádios de desenvolvimento das inflorescências, definiu-se uma escala padrão de classificação, dividida em quatro grupos (E0, E1, E2 e E3), como pode ser observado na Figura 8.

Com o auxílio de uma régua foi aferido o comprimento (mm) de cada inflorescência, e pelo toque estas foram divididas em textura “macia”, que corresponde a fase de formação das brácteas, ou seja, ainda não foi atingido o ponto de maturação, e textura de “papel”, termo utilizado quando se aperta as inflorescências e estas emitem um som semelhante ao se amassar uma folha de papel. Essa característica é um indicativo do ponto de maturação.

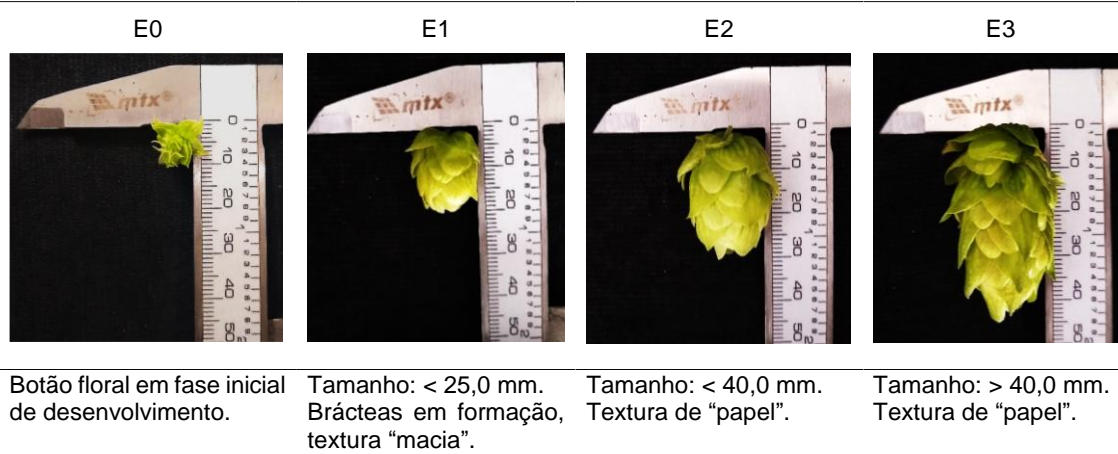


Figura 8. Escala de classificação dos estádios de desenvolvimento das inflorescências do lúpulo (*Humulus lupulus* L.).

Após a classificação, foi contabilizado o número de inflorescências (NI) por grupos. As inflorescências foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e transferidas para estufa de ventilação forçada de ar, a 40°C, até atingirem o teor de umidade de 11%. Após, o material foi pesado em balança semianalítica digital (SHIMADZU®, modelo BL-3200H, com precisão de 0,001 g) e determinada a massa seca das inflorescências (MSI) (g).

3.2.2.6 Massa seca de caule e folhas

Após a colheita das inflorescências, com o auxílio de tesoura de poda, as plantas foram separadas em folhas e caule. O material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e transferidos para estufa de ventilação forçada de ar, a 65°C, até obtenção de massa constante. Após, com o auxílio de balança semianalítica digital (SHIMADZU®, modelo BL-3200H, com precisão de 0,001 g) foi aferida a massa seca das folhas (MSF) (g) e massa seca do caule (MSC) (g).

3.2.2.7 Área foliar

A área foliar (AF) (m²) foi avaliada aos 76 DAT (45 DAAT). Para tanto, foram coletadas 40 folhas por planta, em diferentes estágios de desenvolvimento (Figura 9A), nos quatro pontos cardeais, que não apresentassem danos ou ataque de

pragas e doenças. Para todas as folhas coletadas foi computada a área foliar (m^2), por meio de medidor eletrônico de área foliar (LI-COR®, modelo LI-3100) (Figura 9B), calibrado utilizando discos de papel (calibradores) de área conhecida ($0,005 m^2$ e $0,001 m^2$).

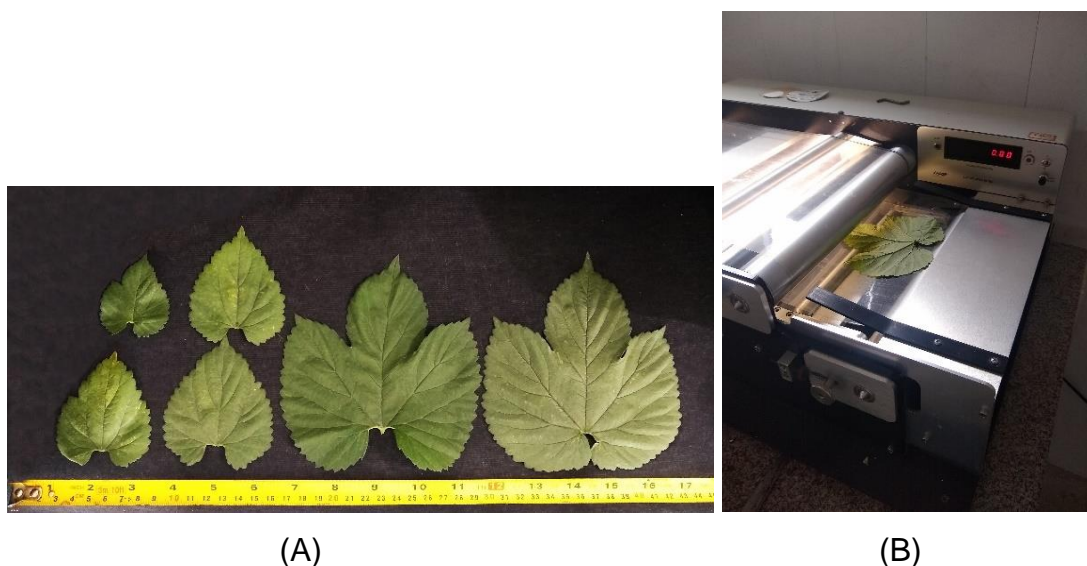


Figura 9. (A) Folhas coletadas em diferentes estágios de desenvolvimento para avaliação de área foliar; (B) Medidor eletrônico de área foliar (LI-COR, modelo LI-3100).

Após a medição da área foliar, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e levados à estufa de ventilação forçada de ar, à $65^{\circ}C$, até atingirem massa constante. Após a secagem foi aferida a massa seca das folhas. Os dados de área foliar (m^2) foram relacionados com os dados de massa seca foliar (g), e extrapolados para a massa seca foliar total da planta (g), para estimativa da área foliar total da planta (m^2).

3.3 Segundo ciclo produtivo da cultura

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), composto por cinco tratamentos: TR2- Turno de rega de 2 dias, TR4- Turno de rega de 4 dias, TR6- Turno de rega de 6 dias, TR8- Turno de rega de 8 dias e TR10- Turno de rega de 10 dias, e seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais,

representadas por uma planta cultivada por vaso, conforme apresentado no croqui experimental, na Figura 10.

O segundo ciclo produtivo da cultura teve início em 07 de dezembro de 2021, um dia após o corte das plantas do primeiro ciclo. Apesar de ser uma cultura perene, a parte aérea apresenta uma resposta de planta anual, com emissão de brotações a cada ciclo, a partir dos rizomas. A porção subterrânea, composta por raízes e rizomas, foi irrigada de forma manual e diariamente, até a aplicação dos tratamentos, de forma a manter o substrato próximo à capacidade de campo e permitir uma brotação uniforme.

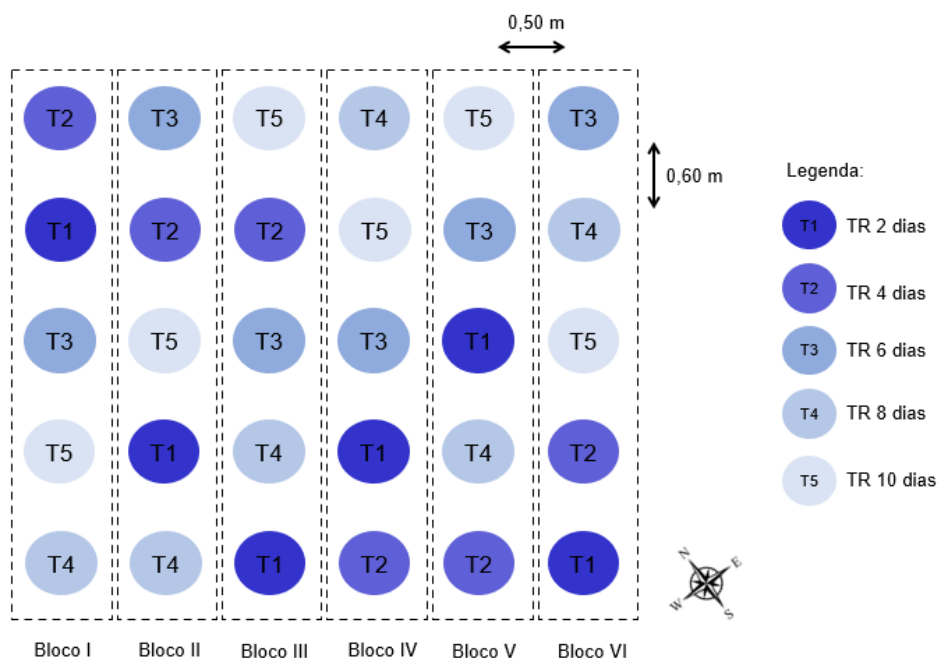


Figura 10. Croqui experimental do segundo ciclo produtivo, em detalhe: tratamentos, blocos, espaçamento entre linhas (0,60 m) e entre plantas (0,50 m).

A desbrota foi realizada em 13 de dezembro de 2021 (sete dias após o corte das plantas), sendo conduzidas verticalmente seis hastas por planta, tutoradas em dois barbantes. Os barbantes foram presos em arame galvanizado de 1,45 mm de diâmetro, fixados horizontalmente e paralelos as linhas de cultivo, a uma altura de 2,90 m em relação ao solo.

A aplicação dos tratamentos iniciou-se aos dois dias após a desbrota (DAD), em que as plantas apresentavam em média 1,00 m de altura. As irrigações eram realizadas ao final da tarde, com auxílio de um becker, aplicando um volume de água conhecido, suficiente para saturar o substrato.

O volume de água drenado era coletado, e aferido na manhã do dia seguinte a irrigação, com o auxílio de uma proveta. Cada tratamento recebeu um volume de irrigação próprio, corrigido a cada irrigação, com base no consumo de água das plantas na irrigação anterior.

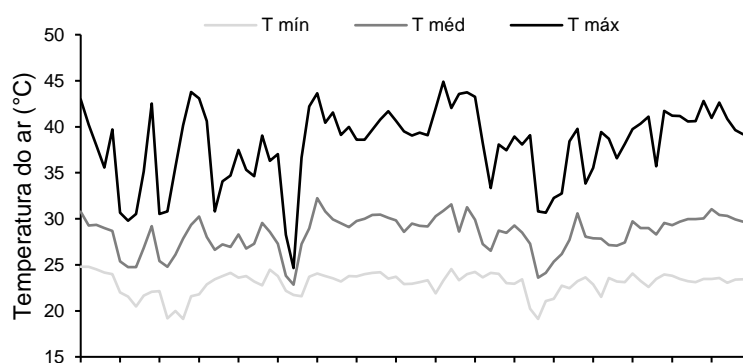
3.3.1 Condições meteorológicas

Do dia 13 de dezembro de 2021 a 07 de março de 2022, que corresponde ao período de 0 a 84 DAD, foram coletadas as variáveis meteorológicas temperatura do ar (T) (°C) e umidade relativa do ar (UR) (%) no interior da casa de vegetação, através de um sensor modelo Hobo® (Onset Computer, Bourne, EUA). Os valores das variáveis foram armazenados em intervalos de 60 minutos, sendo calculadas as médias diárias (Figuras 11A e 11B).

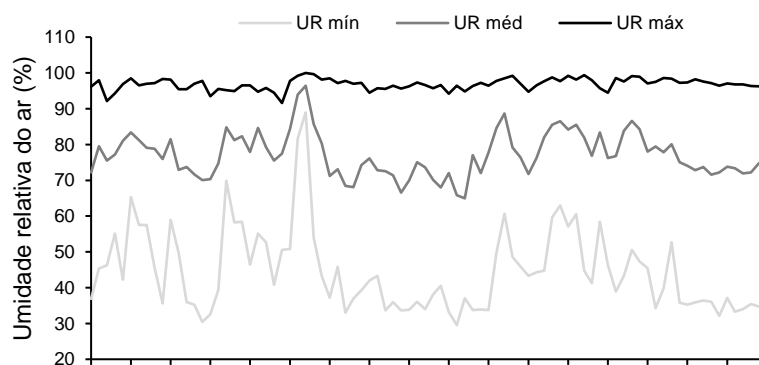
O déficit de pressão de vapor do ar (DPVar) (kPa) (Figura 11C) foi calculado pelo método de Penman-Monteith e os procedimentos sugeridos pelo boletim N°56 da FAO, por meio das Equações 1 a 3.

A temperatura média diária do ar oscilou entre 22,84°C e 32,24°C. A temperatura máxima chegou aos 44,9°C (46 DAD), enquanto a temperatura mínima atingiu 19,12°C (13 DAD). A umidade relativa média diária do ar variou entre 64,95 e 96,41%. O déficit de pressão de vapor do ar apresentou valor médio diário em torno de 1,2 kPa, com valor máximo registrado de 6,7 kPa (46 DAD).

A



B



C

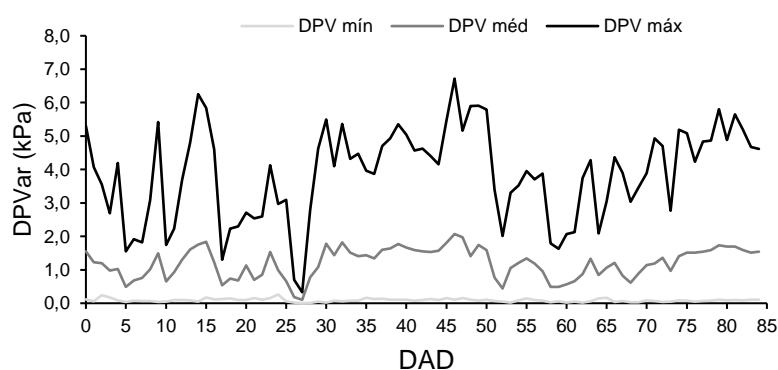


Figura 11. (A) Valores diários de temperatura máxima, média e mínima do ar (C°); (B) Valores diários de umidade relativa máxima, média e mínima do ar (%); (C) Valores diários de déficit de pressão de vapor máxima, médio e mínimo do ar (kPa), no interior da casa de vegetação, no período de 13/12/2021 a 07/03/2022 (0 a 84 DAD).

3.3.2 Sensor de fluxo de seiva xilemática

As taxas de fluxo de seiva xilemática foram determinadas de 36 a 84 DAD (38 a 86 DAAT), utilizando sensor de fluxo de seiva desenvolvido por Galote (2021). Este sensor, tem como princípio de funcionamento o método térmico. O equipamento é constituído por um cabeçote, contendo na parte superior uma junção de termistores que fornece o valor T1 (C°), o qual é influenciado pelo aquecimento da seiva e T2 (C°), e entre eles um resistor (elemento aquecedor). Outro termistor é posicionado na parte inferior, a 50 mm do resistor, onde o valor T3 (C°) corresponde a temperatura de referência da planta (Figura 12A).

O princípio de funcionamento implica na variação máxima da temperatura até $\pm 5^{\circ}\text{C}$, entre os termistores T1 e T2 vs. T3 (Equação 8). Quando a variação média de temperatura é inferior a 5°C , são aplicados pulsos de calor com potência de 0,144 W, com duração de 250 milissegundos, condição esta que indica maior fluxo de seiva xilemática, fazendo com que o calor seja dissipado rapidamente.

Caso contrário, quando a variação média da temperatura é superior a 5°C , o fornecimento de energia é interrompido, condição esta que indica que o fluxo é mínimo ou quase nulo. O sistema de aquisição de dados foi programado para realizar leituras de números de pulsos de calor e temperatura a cada 30 segundos e registrar a média a cada 15 minutos. Os dados foram armazenados em cartões de memória do tipo microSD por meio de módulos gravador microSD e as estações também eram programadas para transmitir os dados gravados via *bluetooth*.

Para a estimativa do fluxo de seiva xilemática, foram monitoradas três plantas em cada tratamento. Selecionou-se uma haste, sendo o cabeçote fixado perpendicularmente, a uma altura de 0,80 m em relação ao substrato, com auxílio de fita adesiva (Figura 12B). A fim de otimizar o contato entre os sensores e a haste, utilizou-se pasta térmica. Visando o isolamento térmico, cada cabeçote foi totalmente coberto com isopor de 150 mm de espessura e manta térmica aluminizada.

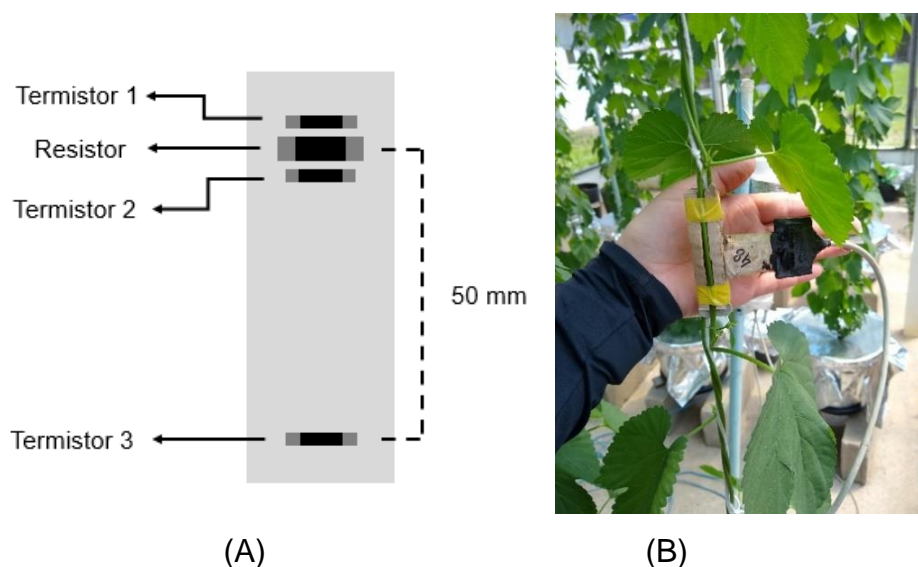


Figura 12. (A) Ilustração dos componentes do cabeçote do sensor de fluxo de seiva xilemática; e (B) cabeçote fixado perpendicularmente à haste, a uma altura de 0,80 m em relação ao substrato.

O cálculo de fluxo de seiva xilemática (FSX), em mL h⁻¹, baseado no método térmico, foi realizado utilizando-se as Equações 4 a 10.

$$FSX = \frac{\Delta Q}{\rho c(\Delta T)} \therefore \frac{P \left(\frac{NL - N0}{NT} \right)}{4,19(\Delta T)} \quad (4)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \therefore P = \frac{(2,6)^2}{47} = 0,144 \text{ W} \quad (5)$$

$$Q = \frac{NL}{NT} P \quad (6)$$

$$\Delta Q = (Q - Q0) \quad (7)$$

$$\Delta T = \frac{2}{(\Delta T2 - \Delta T1)} \quad (8)$$

$$\Delta T1 = (T1 - T3) \quad (9)$$

$$\Delta T_2 = (T_2 - T_3) \quad (10)$$

em que:

FSX = fluxo de seiva xilemática, mL h⁻¹;

ΔQ = potência absorvida pelo fluxo de seiva xilemática, W;

ρc = capacidade térmica da água, J m⁻³ K⁻¹;

P = potência de energia aplicada, W;

NL = número de acionamentos do aquecedor em intervalos de 15 min;

NT = número máximo de acionamentos em intervalos de 15 min;

V = voltagem aplicada ao resistor, V;

R = resistência conferida pelo resistor, Ω ;

Q = potência real aplicada em intervalos de 15 min, W;

ΔT = variação média de temperatura, °C;

ΔT_1 = variação de temperatura entre T_1 e T_3 , °C;

ΔT_2 = variação de temperatura entre T_2 e T_3 , °C;

T_1 = temperatura do sensor, localizado 2 mm acima do resistor, °C;

T_2 = temperatura do sensor, localizado 2 mm abaixo do resistor, °C; e

T_3 = temperatura do termistor de referência, localizado 50 mm abaixo do resistor, °C.

3.3.3 Coeficiente de estresse hídrico (CEH)

A partir dos dados de fluxo de seiva xilemática (mL h⁻¹) e de temperatura de referência da planta (T_3) (°C), foram estimados coeficientes de estresse hídrico (CEH). Primeiramente, calculou-se a variação térmica (ΔT) (°C), para cada hora do dia, por meio das Equações 11 e 12.

$$\Delta T_h = T_{ar} - T_b \quad (11)$$

em que:

ΔT_h = variação térmica para determinada hora do dia (h), em °C;

T_{ar} = temperatura de referência da planta registrada hora h do dia, em °C; e

T_b = temperatura base, em °C.

sendo,

$$T_b = \begin{cases} T_{ar} & , \text{entre } 18h \text{ e } 06h \text{ (período noturno)} \\ T_{06h} + \frac{(T_{18h} - T_{06h})}{12} (h - 6) & , \text{entre } 06h \text{ e } 18h \text{ (período diurno)} \end{cases} \quad (12)$$

em que:

T_{18h} = Tar registrada às 18h de cada dia, °C;

T_{06h} = Tar registrada às 06h de cada dia, °C;

h = hora do dia, h .

A partir dos valores horários de fluxo de seiva (FS_h) e da variação térmica (ΔT_h), foi obtido, para cada dia, o coeficiente de inclinação diário (C_i), ajustado por regressão linear (Equação 13) (Figura 13).

$$\widehat{FS}_h = C_i \cdot \widehat{\Delta T}_h \quad (13)$$

em que:

C_i diário = coeficiente de inclinação diário;

\widehat{FS}_h = conjunto de valores horários de fluxo de seiva, em mL h⁻¹; e

$\widehat{\Delta T}_h$ = conjunto de valores horários da variação térmica, em °C.

O coeficiente de estresse hídrico (CEH) foi estimado pelo complemento da razão entre o coeficiente de inclinação diário ($CI_{diário}$) e o coeficiente de inclinação de mínimo estresse obtido anteriormente ($CI_{mínE}$), ou seja, valor obtido no dia posterior a irrigação, onde as plantas apresentavam máxima taxa xilemática (Equação 14).

$$CEH = 1 - \frac{CI_{diário}}{CI_{mínE}} \quad (14)$$

em que:

CEH = coeficiente de estresse hídrico;

$CI_{diário}$ = coeficiente de inclinação do respectivo dia; e

$CI_{mínE}$ = coeficiente de inclinação com o mínimo estresse.

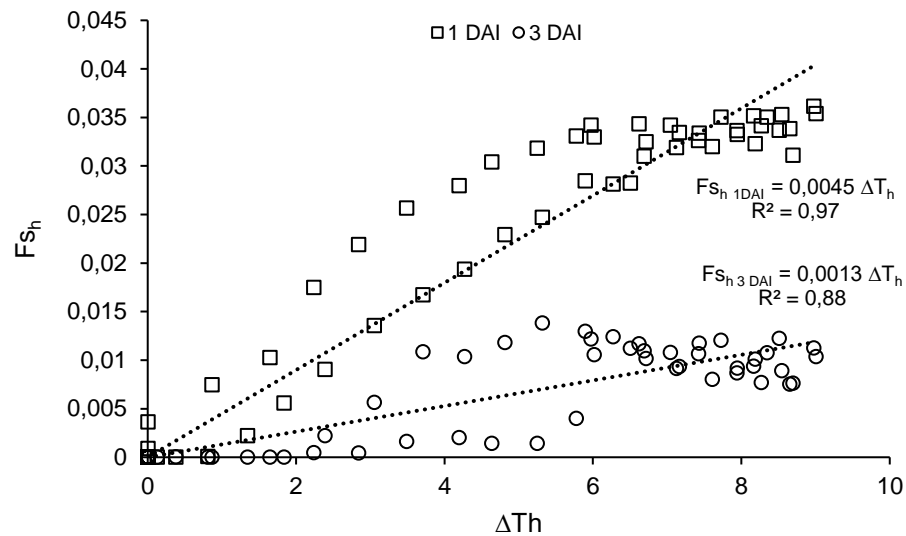


Figura 13. Exemplo de obtenção do CI , utilizando dados de ΔT_h e FS_h do TR4 dias, um dia após a irrigação (1 DAI, 27/01/2022) e três dias após a irrigação (3 DAI, 29/01/2022).

Para o estudo da relação intensidade/frequência de estresse hídrico, após o ciclo de irrigações para cada tratamento, foi calculada a frequência de ocorrência (F_i) de cada valor de CEH. Para isto utilizou-se o método Kimbal. Neste método, a frequência é dada por:

$$F_i = \frac{m}{NL + 1} \quad (15)$$

em que:

m = número de ordem da ocorrência do valor de CEH; e

NL = número total de ocorrências da série de dados de CEH.

O valor de ordem m foi obtido tomando todos os valores de CEH, que ocorreram ao longo do experimento para determinado tratamento, ordenando-os em ordem crescente e atribuindo a cada CEH valores de 1 a NL segundo o ordenamento.

3.3.4 Variáveis avaliadas

3.3.4.1 Diâmetro de caule

Aos 18 DAD (20 DAAT) iniciaram-se as avaliações de diâmetro de caule (DC) (mm), repetindo-se em intervalos de 10 dias, conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.1.

3.3.4.2 Determinação do índice SPAD

Aos 82 DAD (84 DAAT) foi determinado o índice SPAD, utilizando medidor portátil de clorofila, modelo SPAD-502 (Minolta®, Japão), conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.2.

3.3.4.3 Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) e índice fotossintético (PI)

As avaliações de rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) e índice fotossintético (PI) foram realizadas aos 82 DAD (84 DAAT), por meio de fluorímetro Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Inglaterra), às 07h00min e 12h00min, conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.3.

3.3.4.4 Altura de planta

A avaliação de altura de planta (AP) (m) foi realizada aos 84 DAD (86 DAAT), último dia do segundo ciclo produtivo, conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.4.

3.3.4.5 Número e massa seca de inflorescências

A colheita das inflorescências foi realizada de forma manual, aos 84 DAD (86 DAAT), sendo determinado o número de inflorescências (NI) e a massa seca de inflorescências (MSI) (g), conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.5.

3.3.4.6 Massa seca de caule e folhas

Aos 84 DAD (86 DAAT), foram avaliadas a massa seca das folhas (MSF) (g) e a massa seca do caule (MSC) (g), conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.6.

3.3.4.7 Área foliar

A área foliar total (AFT) (m²) foi estimada aos 84 DAD (86 DAAT), conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.7.

3.4 Terceiro ciclo produtivo da cultura

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), composto por cinco tratamentos: TR1- Turno de rega de 1 dia, TR2- Turno de rega de 2 dias, TR3- Turno de rega de 3 dias, TR4- Turno de rega de 4 dias e TR5- Turno de rega de 5 dias, e seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais, representadas por uma planta cultivada por vaso, conforme apresentado no croqui experimental, na Figura 14.

O terceiro ciclo produtivo da cultura teve início em 08 de março de 2022, um dia após o corte das plantas do segundo ciclo produtivo. A porção subterrânea, composta por raízes e rizomas, foi irrigada de forma manual e diariamente, até a aplicação dos tratamentos, de forma a manter o substrato próximo a capacidade de campo e permitir uma brotação uniforme.

A desbrota foi realizada em 18 de março de 2022 (11 dias após o corte das plantas), sendo conduzidas verticalmente três hastes por planta, tutoradas em três barbantes. Os barbantes foram presos em arame galvanizado de 1,45 mm de

diâmetro, fixados horizontalmente e paralelos às linhas de cultivo, a uma altura de 2,90 m em relação ao solo.

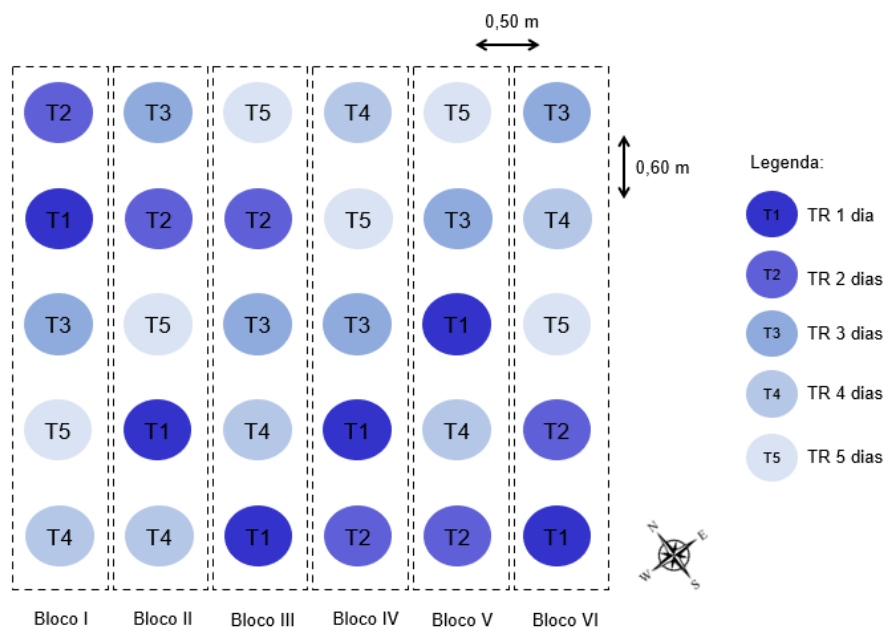


Figura 14. Croqui experimental do terceiro ciclo produtivo, em detalhe: tratamentos, blocos, espaçamento entre linhas (0,60 m) e entre plantas (0,50 m).

A aplicação dos tratamentos iniciou-se oito dias após a desbrota (DAD), em que as plantas apresentavam em média 1,00 m de altura. As irrigações eram realizadas ao final da tarde, com auxílio de um becker, aplicando um volume de água conhecido, suficiente para saturar o substrato. O volume de água drenado era coletado, e aferido na manhã do dia seguinte a irrigação, com o auxílio de uma proveta. Cada tratamento recebeu um volume de irrigação próprio, corrigido a cada irrigação, com base no consumo de água das plantas na irrigação anterior.

3.4.1 Condições meteorológicas

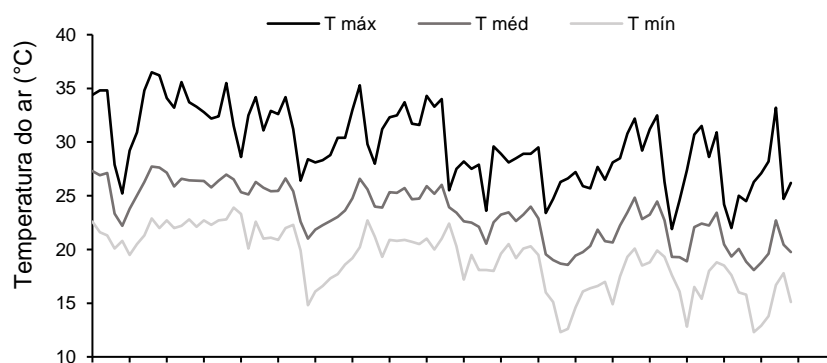
Do dia 18 de março a 20 de junho de 2022, que corresponde ao período de 0 a 94 DAD, foram coletadas as variáveis meteorológicas temperatura do ar (T) (°C) e umidade relativa do ar (UR) (%) no interior da casa de vegetação, através de um

sensor modelo Hobo® (Onset Computer, Bourne, EUA). Os valores das variáveis foram armazenados em intervalos de 60 minutos, sendo calculadas as médias diárias (Figuras 15A e 15B).

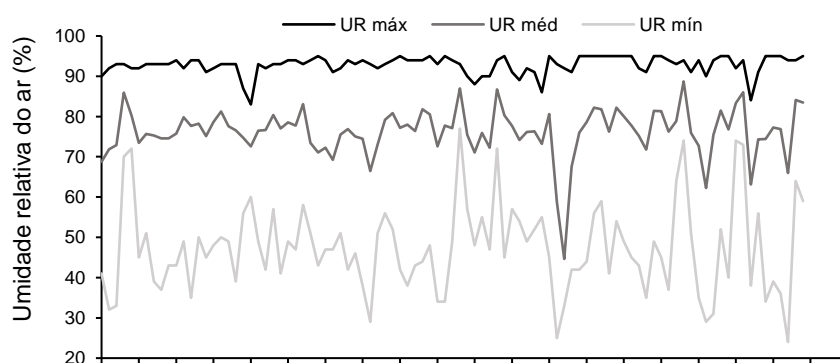
O déficit de pressão de vapor do ar (DPVar) (kPa) (Figura 15C) foi calculado pelo método de Penman-Monteith e os procedimentos sugeridos pelo boletim N°56 da FAO, por meio das Equações 1 a 3.

A temperatura média diária do ar oscilou entre 18,08 e 27,72°C. A temperatura máxima chegou aos 36,5°C (8 DAD), enquanto a temperatura mínima atingiu 13,3°C (89 DAD). A umidade relativa média diária do ar variou entre 44,62 e 88,70%. O déficit de pressão de vapor do ar apresentou valor médio diário em torno de 0,80 kPa, com valor máximo registrado de 3,9 kPa (36 DAD).

A



B



C

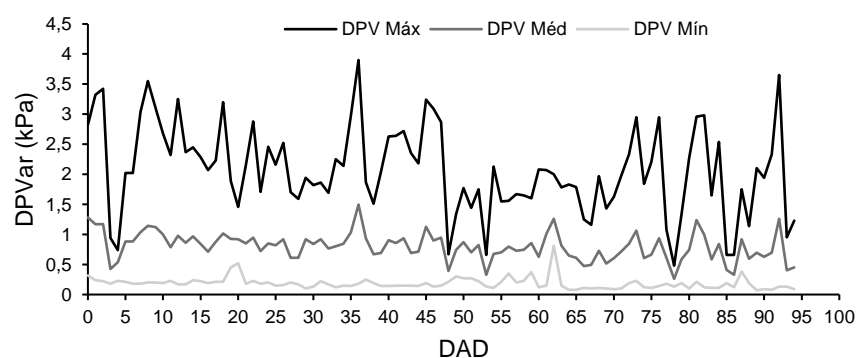


Figura 15. (A) Valores diários de temperatura máxima, média e mínima do ar (C°); (B) Valores diários de umidade relativa máxima, média e mínima do ar (%); (C) Valores diários de déficit de pressão de vapor máximo, médio e mínimo do ar (kPa), no interior da casa de vegetação, no período de 18 de março a 20 de junho de 2022 (0 a 94 DAD).

3.4.2 Sensor de fluxo de seiva xilemática

As taxas de fluxo de seiva xilemática foram determinadas de 26 a 94 DAD (34 a 102 DAAT), conforme procedimentos realizados no segundo ciclo produtivo, descritos no item 3.3.2.

3.4.3 Coeficiente de estresse hídrico (CEH)

Os coeficientes de estresse hídrico (CEH) e a relação intensidade/frequência de estresse foram determinados conforme procedimentos realizados no segundo ciclo produtivo, descritos no item 3.3.3.

3.4.4 Variáveis avaliadas

3.4.4.1 Diâmetro de caule

Aos 28 DAD (36 DAAT) iniciaram-se as avaliações de diâmetro de caule (DC) (mm), repetindo-se em intervalos de 10 dias, conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.1.

3.4.4.2 Determinação do índice SPAD

Aos 74 DAD (82 DAAT) foi determinado o índice SPAD, utilizando medidor portátil de clorofila, modelo SPAD-502 (Minolta®, Japão), conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.2.

3.4.4.3 Condutância estomática

Aos 74 DAD (82 DAAT) foi determinada a condutância estomática (g_s) ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$), com auxílio de porômetro (SC-1, METER Group, Inc., Pullman, WA, USA), às 07h00min e 12h00min. Foi selecionada uma folha por planta, localizada no terço médio, sendo realizada uma medição na porção central do limbo foliar, na face abaxial, porção esta onde se localizam os estômatos na cultura do lúpulo.

3.4.4.4 Altura de planta

A avaliação de altura de planta (AP) (m) foi realizada aos 94 DAD (102 DAAT), último dia da condução do experimento, conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.4.

3.3.4.5 Número e massa seca de inflorescências

A colheita das inflorescências foi realizada de forma manual, aos 94 DAD (102 DAAT), sendo determinado o número de inflorescências (NI) e a massa seca de inflorescências (MSI) (g), conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.5.

3.4.4.6 Massa seca de caule e folhas

Aos 94 DAD (102 DAAT), foram avaliadas a massa seca das folhas (MSF) (g) e a massa seca do caule (MSC) (g), conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.6.

3.4.4.7 Área foliar

A área foliar total (AFT) (m²) foi estimada aos 94 DAD (102 DAAT), conforme procedimentos realizados no primeiro ciclo produtivo, descritos no item 3.2.2.7.

3.4.4.8 Massa seca e volume de raiz

Aos 95 DAD (103 DAAT) as raízes foram retiradas dos vasos e lavadas em água corrente, com o auxílio de peneira, para retirada do substrato aderente. O volume de raízes (VR) (cm³) foi determinado com auxílio de proveta de 1000 mL, na qual foram colocados 500 mL de água e após adicionou-se as raízes. O volume acrescido aos 500 mL correspondeu ao volume de raiz, considerando 1 mL= 1 cm³.

Em seguida, as raízes foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e transferidos para estufa de ventilação forçada de ar, a 65°C, até obtenção de massa constante. Após, com o auxílio de balança

semianalítica digital (SHIMADZU®, modelo BL-3200H, com precisão de 0,001 g) foi aferida a massa seca de raízes (MSR) (g).

3.4.4.9 Relação massa seca de raiz por massa seca de parte aérea

Foi determinada a razão da relação entre a biomassa da raiz pela biomassa da parte aérea (massa seca de caule + massa seca de folhas) (MSR/MSPA). Essa análise é mais precisa para avaliar o ritmo de crescimento e mensurar a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal em diferentes condições de produção, sendo útil no estudo das respostas a estresses ambientais (Benincasa, 2003).

3.5 Análises estatísticas

Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância, verificando efeito significativo, foram submetidos à análise regressão. Na análise de regressão foram escolhidas as equações que melhor se ajustaram aos dados com base na significância dos coeficientes de regressão, pelo teste F, e no maior coeficiente de determinação (R^2).

Os dados quantitativos em que os pressupostos da análise de variância não foram atendidos (normalidade e homocedasticidade), foram submetidos à análise de variância não paramétrica, usando o teste de comparação de medianas de Kruskal Wallis, com correção para empates, em complementação, utilizou-se o teste t para comparações. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R, considerando o limiar de significância de 5% para todos os testes (R Core Team, 2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Primeiro ciclo produtivo da cultura

Todas as variáveis avaliadas no primeiro ciclo produtivo da cultura foram influenciadas pelos diferentes intervalos entre irrigações. De acordo com os resultados obtidos na análise de variância, os turnos de rega apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade, evidenciando o efeito da restrição hídrica na diminuição das características de crescimento e produção da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.).

4.1.1 Lâminas aplicadas, drenadas e transpiradas

Os valores de lâminas de água aplicadas após a diferenciação dos tratamentos, bem como os valores das lâminas drenadas e transpiradas estão apresentados na Figura 16. A maior lâmina foi aplicada no tratamento com menor turno de rega ($55,5 \text{ L planta}^{-1}$) e decresceu conforme o aumento do intervalo entre irrigações, sendo 76,57% maior que a lâmina aplicada no tratamento com irrigação a cada dez dias.

As lâminas drenadas e transpiradas também decresceram conforme o aumento do turno de rega. A lâmina transpirada no menor turno de rega foi 67,14% superior à lâmina transpirada no tratamento com irrigação a cada dez dias. As menores lâminas se devem aos menores números de eventos de irrigação que ocorreram nos tratamentos com maiores intervalos entre irrigações.

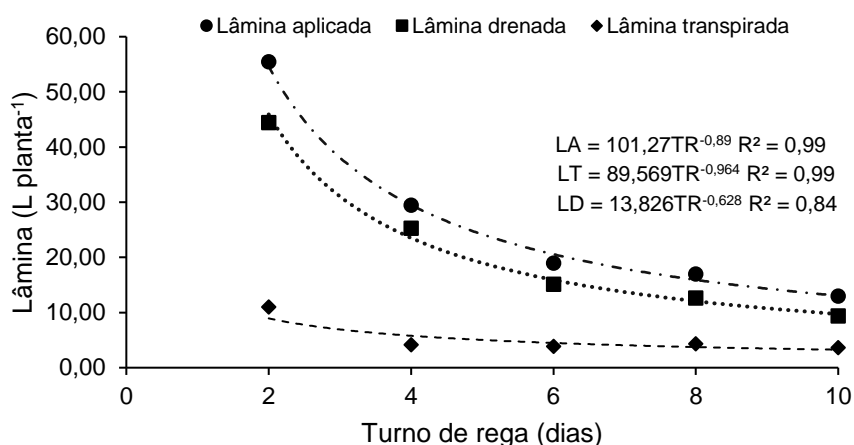


Figura 16. Lâmina aplicada (LA) (L planta⁻¹), lâmina transpirada (LT) (L planta⁻¹) e lâmina drenada (LD) (L planta⁻¹) nos diferentes turnos de rega, no primeiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo.

4.1.2 Diâmetro de caule

Na Figura 17 estão apresentados os valores de diâmetro de caule, avaliados aos 43, 53 e 63 DAT. A variável apresentou decréscimo linear em todas as avaliações, com valores superiores para os menores intervalos entre irrigações.

Durante o período de avaliação (20 dias) a taxa de incremento desta variável para o turno de rega de 2 dias foi 0,06 mm dia⁻¹, os maiores intervalos entre irrigações obtiveram uma taxa de incremento diária menor, cerca de 0,04 mm. Os intervalos entre as irrigações promoveram perdas de - 0,17; - 0,19 e - 0,21 mm, relativas a cada aumento unitário do turno de rega, aos 43, 53 e 63 DAT, respectivamente.

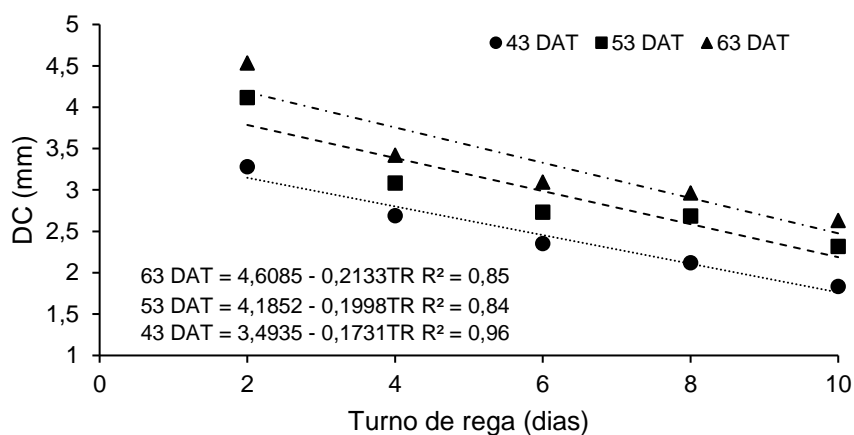


Figura 17. Diâmetro de caule (DC) (mm), no primeiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega, aos 43, 53 e 63 DAT.

4.1.3 Altura de planta

O aumento nos turnos de rega promoveu decréscimo linear da variável altura de planta, sendo observada uma redução de 17,32%, com o aumento de dois para dez dias sem irrigação (Figura 18).

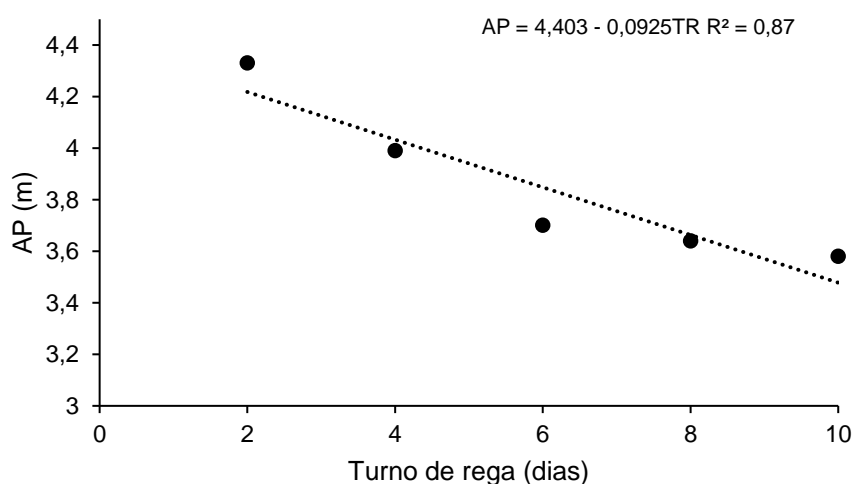


Figura 18. Altura de planta (AP) (m), no primeiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

A falta de água reduz a pressão de turgor e, conseqüentemente, o fluxo de seiva pelos vasos condutores, fato que tende a diminuir o alongamento celular e, assim, o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Taiz e Zeiger, 2004).

4.1.4 Massa seca de caule e folhas

Os valores de massa seca de caule e folhas também apresentaram decréscimo linear (Figuras 19A e 19B). Plantas submetidas a condições de máximo déficit hídrico (turno de rega de dez dias) tiveram reduções de 77,46% no acúmulo de biomassa no caule e 56,13% nas folhas, comparativamente ao tratamento com turno de rega de dois dias.

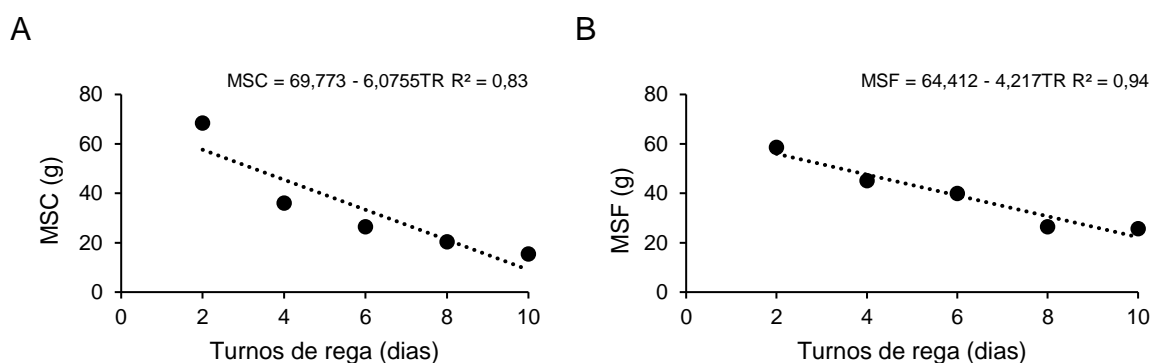


Figura 19. (A) Massa seca do caule (MSC) (g) e (B) Massa seca das folhas (MSF) (g), no primeiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

O crescimento das plantas representa o acúmulo de massa seca, e depende quase que inteiramente da fotossíntese. Segundo Taiz e Zeiger (2004), cerca de 90% da massa seca vegetal são originadas diretamente da assimilação fotossintética de carbono através da fotossíntese.

4.1.5 Área Foliar

A área foliar apresentou decréscimo linear, verificou-se uma redução de 49,60% com o aumento de dois para dez dias sem irrigação (Figura 20). A redução

da área foliar pode estar relacionada com reduções no tamanho das folhas ou até mesmo a menor produção de folhas. Menor área foliar leva a menos interceptação da radiação solar, reduzindo a atividade fotossintética, conseqüentemente, reduzindo a quantidade de fotoassimilados, afetando o crescimento da planta (Santos e Carlesso, 1998).

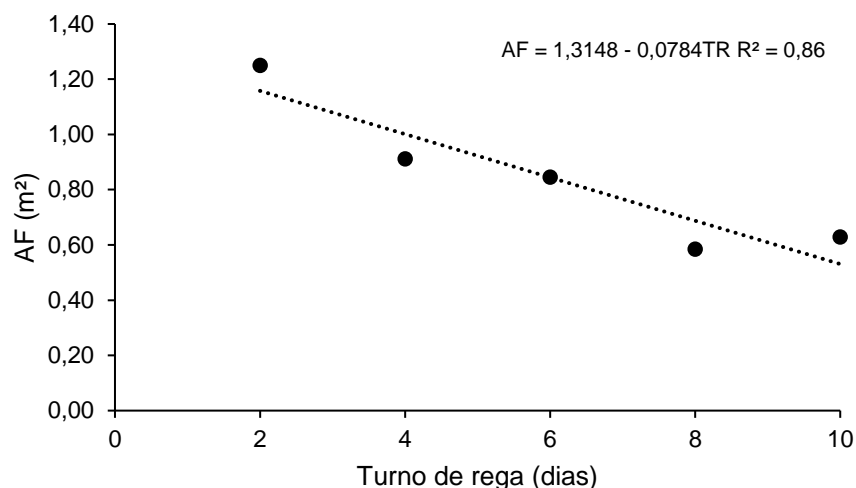


Figura 20. Área foliar (AF) (m²), no primeiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.1.6 Índice SPAD

Os maiores valores de intensidade da cor verde de folha foram obtidos nos menores intervalos entre irrigações, estes variaram linearmente de 57,23 a 47,57 unidades SPAD (Figura 21). A coloração verde mais intensa, ou seja, plantas com alto índice SPAD, tendem a possuir maior concentração de clorofila, pigmento fotorreceptor da fotossíntese, sendo fotossinteticamente mais eficientes, capazes de produzir maior quantidade de fotoassimilados, conseqüentemente, sendo mais produtivas.

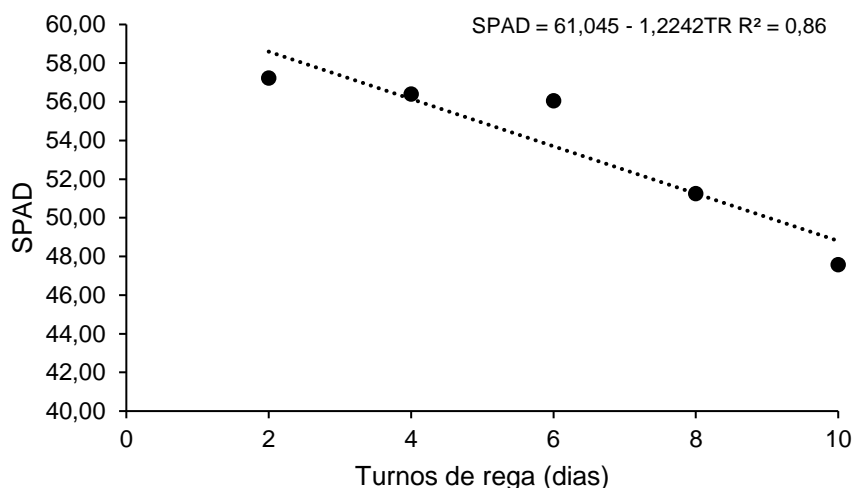


Figura 21. Índice SPAD, no primeiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.1.7 Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) e índice fotossintético (PI)

Em relação ao rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) observou-se decréscimo linear conforme o aumento do intervalo entre irrigações, nos dois horários avaliados (Figura 22A). Às 07h00min os valores variaram de 0,82 a 0,77 e às 12h00min variaram de 0,80 a 0,75. Plantas em perfeito estado fisiológico, na ausência de estresses, apresentam a relação F_v/F_m variando entre 0,75 e 0,85. Observa-se que os valores estão dentro da faixa considerada normal.

Os resultados de índice fotossintético (PI) também apresentaram decréscimo linear conforme o aumento dos intervalos entre irrigações, nos dois horários avaliados (Figura 22B). Para as medidas realizadas às 7h00min, observou-se uma redução de 61,56% com o aumento de dois para dez dias sem irrigação, já para as medidas realizadas no horário de maior temperatura (12h00min), foi observada uma redução de 21,25%.

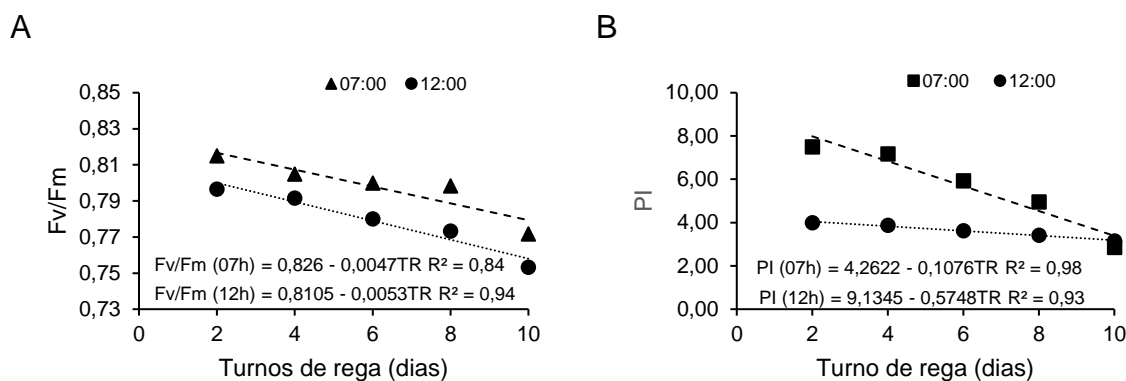


Figura 22. (A) Rendimento quântico máximo do fotossistema II e (B) Índice fotossintético, no primeiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.1.8 Número e massa seca de inflorescências

Na Figura 23 estão apresentados os escores referentes ao número de inflorescências, obtidos para os diferentes estádios de desenvolvimento, em função dos diferentes turnos de rega. No turno de rega de dois dias, os maiores escores, ou seja, o maior número de inflorescências, foram obtidos nos estádios E3 (12,58), E2 (18) e E1 (15,91), os quais não diferiram estatisticamente.

O turno de rega de quatro dias apresentou os maiores valores de escores nos estádios E1 (19,16) e E2 (17), os quais não diferiram estatisticamente. Os turnos de rega de seis e oito dias apresentaram os maiores valores de escores no estádio E1, já o maior intervalo entre irrigações, turno de rega de dez dias, apresentou o maior valor de escore no estádio E0.

Os estádios E2 e E3 compreendem os grupos de inflorescências que apresentam “textura de papel”, ou seja, um indicativo que foi alcançado o ponto de maturação fisiológica. Sendo assim, os menores intervalos entre as irrigações contribuíram para o maior número de inflorescências comercializáveis.

Já os estádios E0 e E1 compreendem inflorescências com “textura macia”, ou seja, apresentam alto teor de água, e não atingiram a maturação fisiológica. Diante disto, pode-se inferir que a restrição hídrica, promovida pelos maiores intervalos entre irrigações, ampliam a fase vegetativa da cultura, atrasando sua produção.

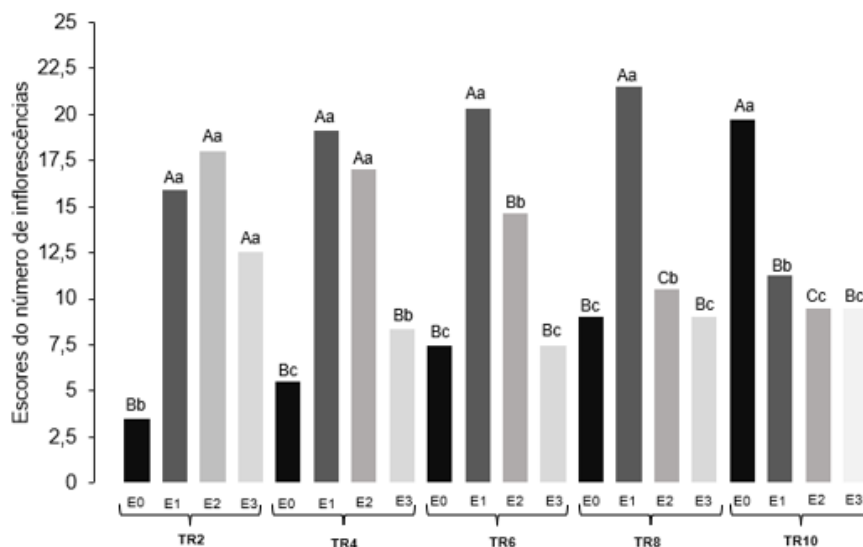


Figura 23. Escores médios referentes ao número de inflorescências, para cada estágio, no primeiro ciclo produtivo da cultura, em função dos diferentes turnos de rega. *Representação dos valores pelas barras seguidas da mesma letra, minúsculas para os estádios dentro de um mesmo tratamento e maiúsculas para os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste t, a 5% de probabilidade.

Na Figura 24 estão apresentados os escores referentes à massa seca das inflorescências, obtidos para cada grupo, em função dos diferentes turnos de rega. Os maiores valores de escores referentes à massa seca de inflorescências comercializáveis foram obtidos no turno de rega de dois (E2 e E3) e quatro dias (E2 e E1). Os demais turnos de rega apresentaram os maiores valores de escores para os estádios E0 e E1, os quais representam grupos de inflorescências que não atingiram maturidade fisiológica, ou seja, não são comercializáveis.

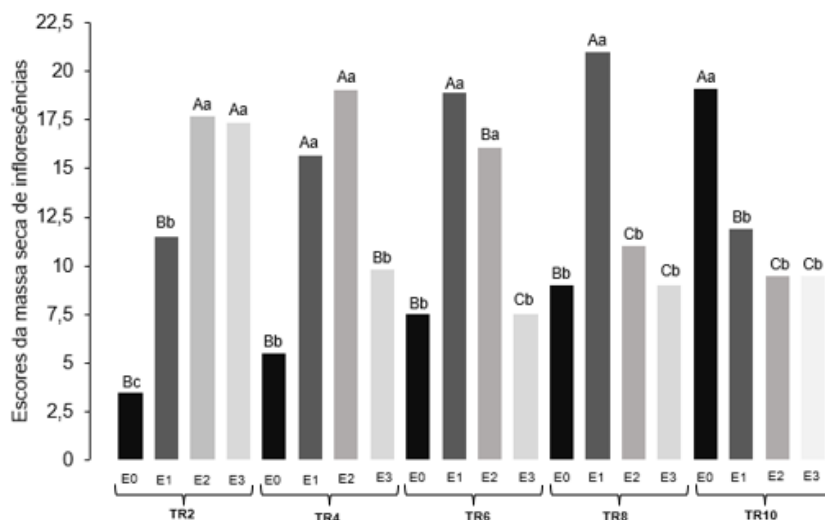


Figura 24. Escores médios referentes à massa seca de inflorescências, para cada estágio, no primeiro ciclo produtivo da cultura, em função dos diferentes turnos de rega. *Representação dos valores pelas barras seguidas da mesma letra, minúsculas para os estádios dentro de um mesmo tratamento e maiúsculas para os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste t, a 5% de probabilidade.

4.2 Segundo ciclo produtivo da cultura

A maioria das variáveis avaliadas no segundo ciclo produtivo da cultura foram influenciadas pelos turnos de rega, exceto a relação F_v/F_m (07h00min). De acordo com os resultados obtidos na análise de variância, os turnos de rega apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade, evidenciando o efeito da restrição hídrica na diminuição das características de crescimento e produção da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.).

4.2.1 Lâminas aplicadas, drenadas e transpiradas

Os valores de lâminas de água aplicadas após a diferenciação dos tratamentos, bem como os valores das lâminas drenadas e transpiradas podem ser verificados na Figura 25.

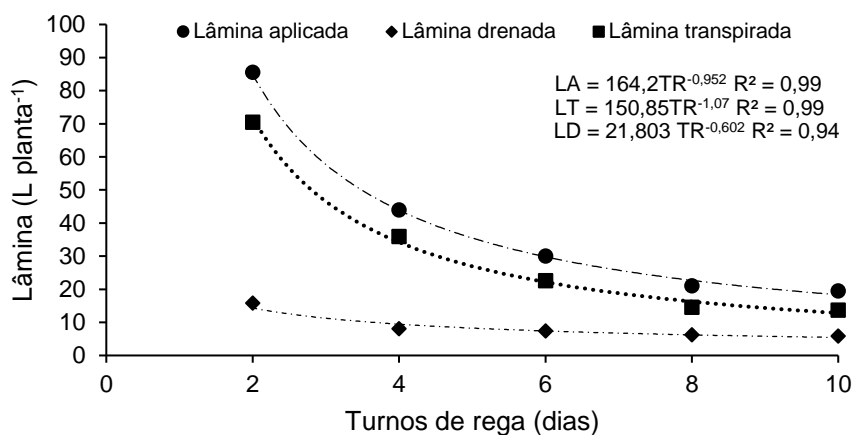


Figura 25. Lâmina aplicada (LA) (L planta⁻¹), lâmina transpirada (LT) (L planta⁻¹) e lâmina drenada (LD) (L planta⁻¹) nos diferentes turnos de rega, no segundo ciclo produtivo da cultura do lúpulo.

A maior lâmina foi aplicada no tratamento com menor turno de rega (85,5 L planta⁻¹) e decresceu conforme o aumento do intervalo entre irrigações, sendo 77,19% maior que a lâmina aplicada no tratamento com irrigação a cada dez dias.

As lâminas drenadas e transpiradas também decresceram conforme o aumento do turno de rega. A lâmina transpirada no menor turno de rega foi aproximadamente cinco vezes superior a lâmina transpirada no tratamento com irrigação a cada dez dias. O decréscimo das lâminas se deve aos menores números de eventos de irrigação que ocorreram ao se aumentar os intervalos entre irrigações.

4.2.2 Diâmetro de caule

O diâmetro de caule decresceu linearmente, com valores superiores para os menores intervalos entre irrigações, no período de 18 a 48 DAD (Figura 26). Durante o período de avaliação (30 dias), as taxas de incremento desta variável foram de 0,03; 0,03; 0,02; 0,01 e 0,01 mm dia⁻¹, para os turnos de rega de 2, 4, 6, 8 e 10 dias, respectivamente.

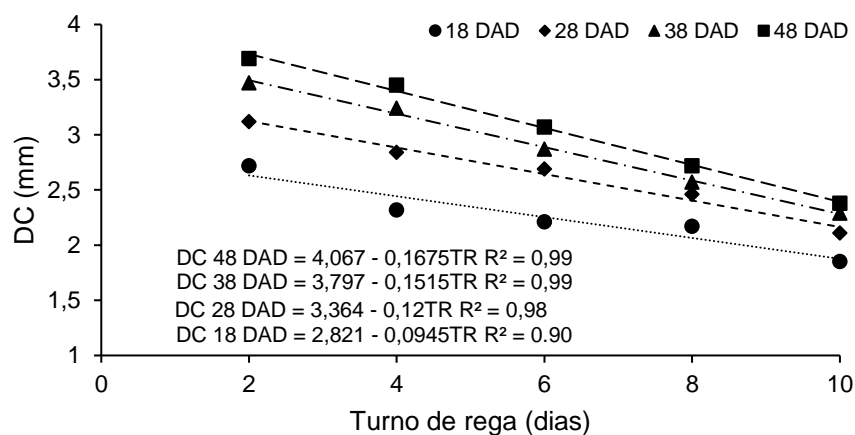


Figura 26. Diâmetro de caule (DC) (mm), no segundo ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega, aos 18, 28, 38 e 48 DAD.

Os intervalos entre as irrigações promoveram perdas de - 0,09; - 0,12; - 0,15 e - 0,16 mm, relativas a cada aumento unitário do turno de rega, aos 18, 28, 38 e 48 DAD, respectivamente, o que correspondem a reduções de 31,98; 32,37; 34,0 e 35,50%, respectivamente.

4.2.3 Altura de planta

O aumento dos turnos de rega promoveu decréscimo linear da variável altura de planta, sendo observada uma redução de 26,28%, com o aumento de dois para dez dias sem irrigação (Figura 27). A absorção contínua de água é essencial ao crescimento e desenvolvimento vegetal, em clima tropical, a maioria das plantas chega a perder mais do que seu próprio peso em água, por dia, em certas condições. O crescimento da planta depende da água absorvida, esta é responsável pela turgescência celular, que sustenta a própria morfologia de plantas herbáceas, e que é essencial para o aumento de volume celular e crescimento do vegetal (Pimentel, 2004).

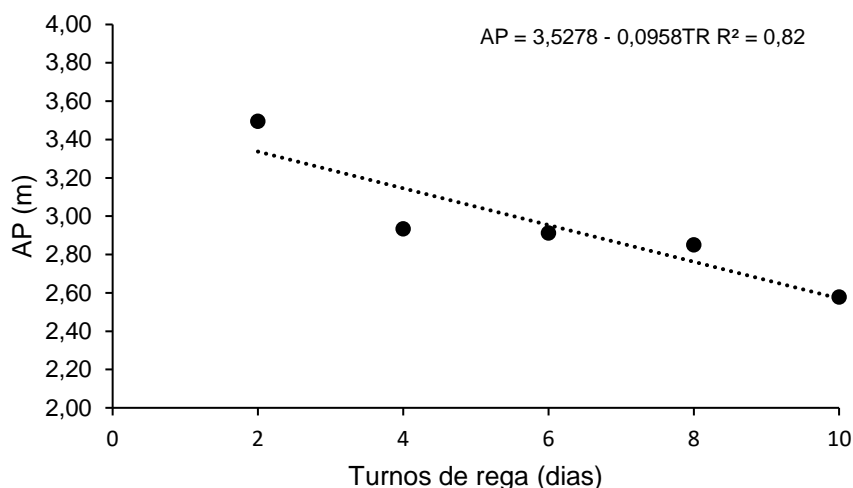


Figura 27. Altura de planta (AP) (m), no segundo ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.2.4 Massa seca de caule e folhas

Os valores de massa seca do caule apresentaram decréscimo com ajuste potencial, verificou-se uma redução severa da variável analisada, cerca de 63,00%, até o turno de rega de seis dias, permanecendo o decréscimo menos acentuado até o turno de rega de dez dias (Figura 28A). Evidenciando assim, uma influência mais expressiva dos menores intervalos entre irrigação no acúmulo de biomassa.

Os valores de massa seca das folhas também apresentaram decréscimo com ajuste potencial, verificou-se uma redução mais acentuada até o turno de rega de seis dias (Figura 28B). Plantas submetidas a condições de máximo déficit hídrico (turno de rega de dez dias) tiveram reduções de 77,41% no acúmulo de biomassa no caule e 75,32% nas folhas, comparativamente ao tratamento com turno de rega de dois dias.

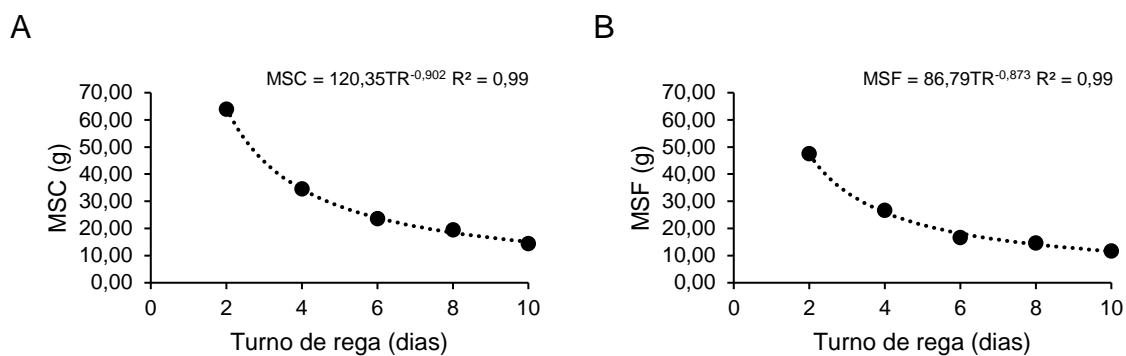


Figura 28. (A) Massa seca do caule (MSC) (g) e (B) Massa seca das folhas (MSF) (g), no segundo ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.2.5 Área Foliar

A área foliar apresentou decréscimo linear, verificou-se uma redução de 76,51% com o aumento de dois para dez dias sem irrigação (Figura 29). Situações de déficit hídrico levam a aceleração da senescência e da abscisão das folhas, sendo importantes estratégias adaptativas, para redução da área transpiracional. A limitação na área foliar pode ser considerada como uma primeira reação das plantas em relação ao déficit hídrico (Taiz e Zeiger, 2013).

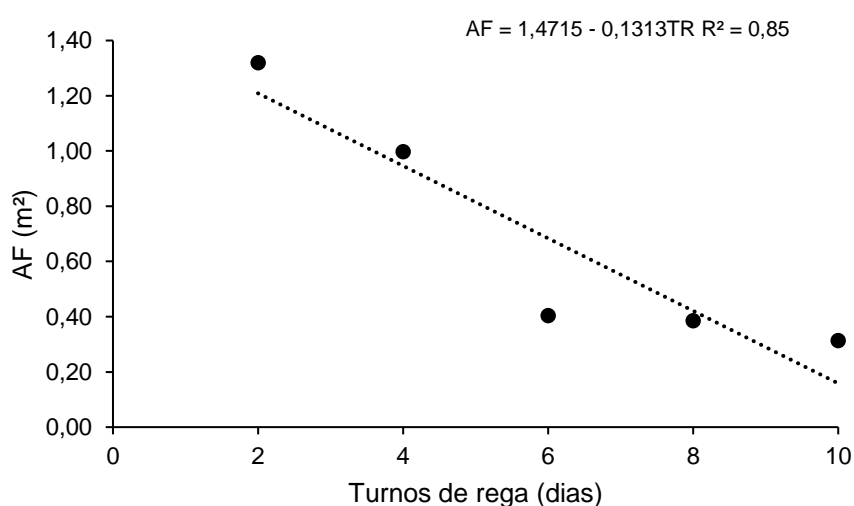


Figura 29. Área foliar (AF) (m²), no segundo ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.2.6 Índice SPAD

Os valores médios de intensidade da cor verde de folha variaram linearmente de 39,66 a 17,90 unidades SPAD, sendo os maiores valores obtidos nos menores intervalos de irrigação (Figura 30). O índice SPAD pode ser utilizado de forma indireta para avaliar teores de nitrogênio em plantas, em função da correlação de intensidade do verde e o teor de clorofila com a concentração de nitrogênio na planta.

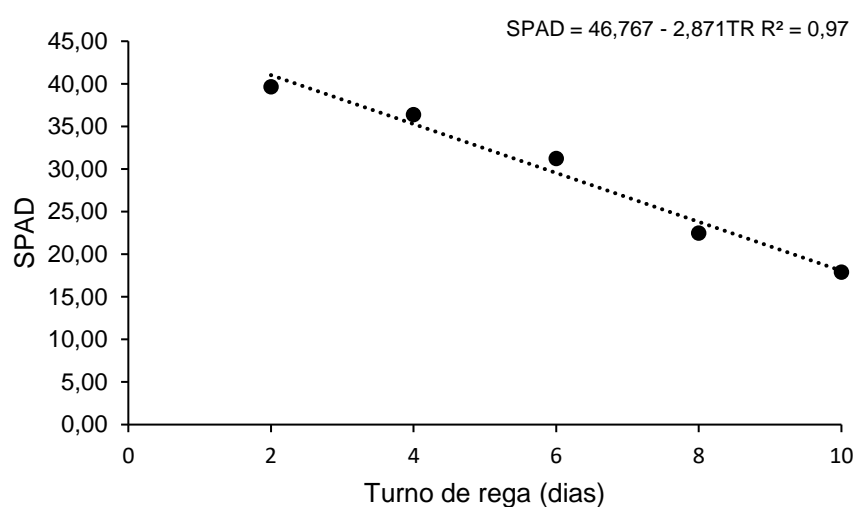


Figura 30. Índice SPAD, no segundo ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

Torres Netto et al. (2005), avaliando leituras SPAD na cultura do café, concluíram que valores inferiores a 40 indicam o início da deficiência de clorofila, o que afeta o processo fotossintético. As avaliações de eficiência fotoquímica e demais parâmetros fisiológicos realizados nessa pesquisa, apresentaram reduções conforme o aumento no intervalo entre irrigações, evidenciando o comprometimento da atividade fotossintética pela restrição hídrica.

4.2.7 Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) e índice fotossintético (PI)

Em relação ao rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), nas avaliações realizadas nas primeiras horas do dia, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, destacando-se que o valor médio observado para esta variável foi 0,75. Já nas avaliações realizadas às 12h00min, é possível observar efeito dos turnos de rega na relação F_v/F_m , com decréscimo linear conforme o aumento dos intervalos entre irrigações (Figura 31A).

Plantas em perfeito estado fisiológico, na ausência de estresses, apresentam a relação F_v/F_m variando entre 0,75 e 0,85. Valores inferiores a 0,72 podem indicar o fenômeno de fotoinibição. Diante disto, pode-se afirmar que apenas o turno de rega de dois dias não promoveu algum tipo de estresse nas plantas, tendo todos os demais valores ficando abaixo dos considerados ideais (Schreiber et al., 1995; Critchley et al., 1998).

Os pigmentos fotossintéticos (clorofila "a", clorofila "b" e carotenoides) absorvem a energia luminosa que será convertida em energia química no processo fotossintético. A energia luminosa é absorvida na forma de fótons, as moléculas de clorofila alteram sua configuração, migram do estado basal para o estado excitado. Para retornar ao estado basal, a molécula de clorofila excitada deve dissipar energia, uma das formas é através da fluorescência (Taiz e Zeiger, 2004).

A fluorescência é um mecanismo fundamental na dissipação de energia luminosa não utilizada no processo fotossintético. Quando ocorre inibição fotossintética, devido a estresse, a fluorescência fica sobrecarregada, resultando em desequilíbrio metabólico. Assim, alterações na fluorescência emitida pode indicar comprometimento no processo fotossintético.

Quando uma planta está sob restrição hídrica, o decréscimo no teor de água da folha, induz, inicialmente, o fechamento estomático, acarretando redução de CO_2 para as células do mesófilo, conseqüentemente reduzindo as taxas fotossintéticas. Assim, o decréscimo na relação F_v/F_m indica uma redução característica na eficiência quântica potencial do fotossistema II na planta quando submetida às condições de ambientes estressantes (Araújo e Deminicis, 2009).

A relação F_v/F_m é muito utilizada como parâmetro indicador de estresse, porém, nem sempre ela é suficiente para observar diferenças entre os tratamentos. A variável índice fotossintético (PI) é considerada mais sensível aos efeitos dos estresses do que a relação F_v/F_m , onde valores elevados indicam elevada eficiência nos processos fotoquímicos (Strasser et al., 2000).

Os resultados de índice fotossintético (PI) foram significativos nos dois horários avaliados (Figura 31B). Houve um declínio nos valores desta variável, para as medidas realizadas às 7h00min, em que se observou uma redução de 69,55% com o aumento de dois para dez dias sem irrigação. Já para as medidas realizadas no horário de maior temperatura (12h00min), foi observada uma redução de 63,10%.

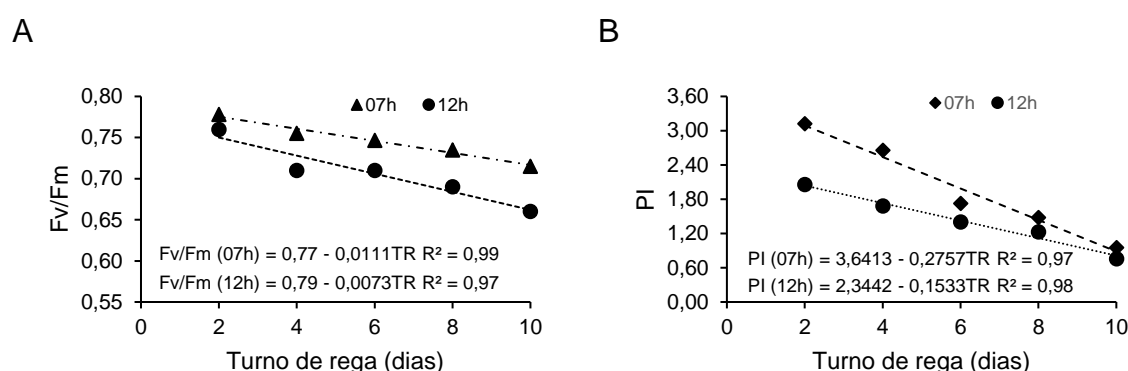


Figura 31. (A) Rendimento quântico máximo do fotossistema II e (B) Índice fotossintético, no segundo ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.2.8 Número e massa seca de inflorescências

Na Figura 32 estão apresentados os escores referentes ao número de inflorescências, obtidos para os diferentes estádios de desenvolvimento, em função dos diferentes turnos de rega. Os intervalos entre as irrigações influenciaram no desenvolvimento das inflorescências. No turno de rega de dois dias, os maiores escores obtidos, ou seja, o maior número de inflorescências, foram registrados no estágio E2 (21,5), seguido do estágio E3 (12,5), os quais diferiram estatisticamente.

Os estádios E2 e E3 compreendem os grupos de inflorescências que apresentam “textura de papel”, ou seja, um indicativo que foi alcançado o ponto de maturação fisiológica. Sendo assim, o menor intervalo entre as irrigações contribuiu para o maior número de inflorescências comercializáveis.

Os turnos de rega de quatro e seis dias apresentaram os maiores valores de escores no estágio E1, 19,5 e 21,5, respectivamente. Este estágio compreende inflorescências com “textura macia”, ou seja, apresentam alto teor de água, e não atingiram a maturação fisiológica. Os menores escores, foram obtidos para os demais estádios, não diferindo estatisticamente entre si.

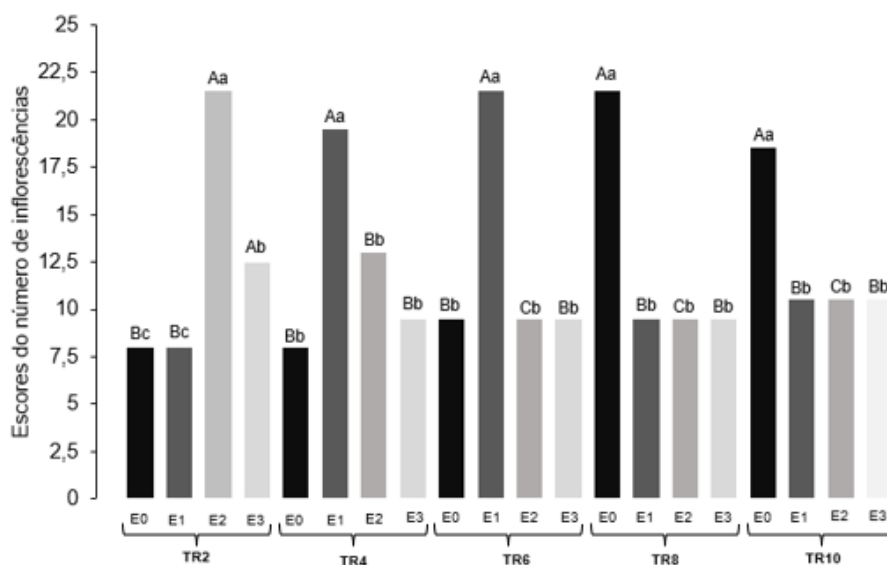


Figura 32. Escores médios referentes ao número de inflorescências, para cada estágio, no segundo ciclo produtivo da cultura, em função dos diferentes turnos de rega. *Representação dos valores pelas barras seguidas da mesma letra, minúsculas para os estádios dentro de um mesmo tratamento e maiúsculas para os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste t, a 5% de probabilidade.

Os turnos de rega de oito e dez dias apresentaram os maiores valores de escores para o estágio E0, grupo que engloba as inflorescências em início de formação, os demais grupos apresentaram escores abaixo de 10,5 e não diferiram estatisticamente entre si.

Diante disto, pode-se inferir que a restrição hídrica, promovida pelos maiores intervalos entre irrigações, ampliam a fase vegetativa da cultura, atrasando sua produção, uma vez que existe correlação positiva entre o menor turno de rega e as inflorescências que atingiram a maturação fisiológica (comercializáveis).

Na Figura 33 estão apresentados os escores referentes à massa seca das inflorescências, obtidos para cada grupo, em função dos diferentes turnos de rega. Os maiores valores de escores referentes à massa seca de inflorescências comercializáveis foram obtidos no turno de rega de dois dias, sendo 20,16 para o estágio E2 e 13,83 para o estágio E3, os quais diferiram estatisticamente. Os demais turnos de rega apresentaram os maiores valores de escores para os estádios E0 e E1, os quais representam grupos de inflorescências que não atingiram maturidade fisiológica, ou seja, não são comercializáveis.

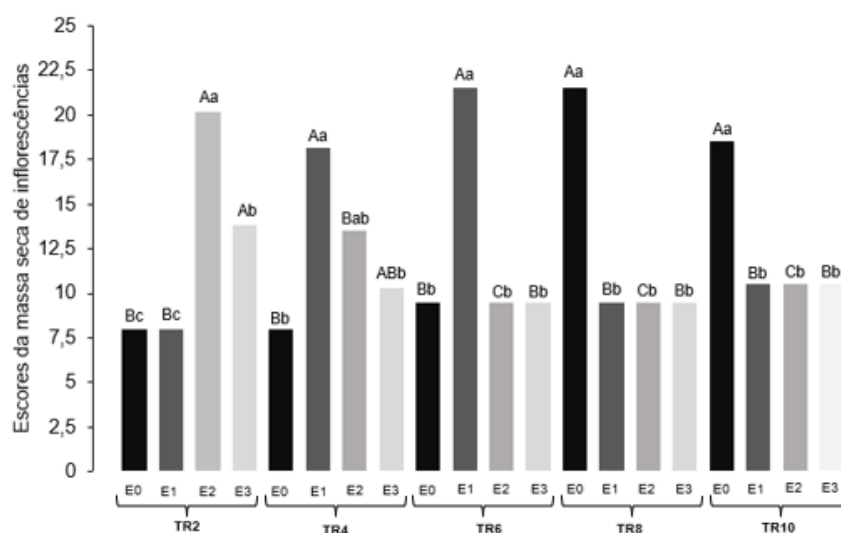


Figura 33. Escores referentes a massa seca das inflorescências, para cada estágio, no segundo ciclo produtivo da cultura, em função dos diferentes turnos de rega. *Representação dos valores pelas barras seguidas da mesma letra, minúsculas para os estádios dentro de um mesmo tratamento e maiúsculas para os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste t, a 5% de probabilidade.

4.2.9 Fluxo de seiva xilemática

Na Figura 34 estão apresentados os valores de fluxo de seiva xilemática (FSX) (mL h^{-1}), medidos no período de 36 a 84 DAD (48 dias). Observou-se decréscimo da variável analisada em função do aumento no intervalo entre irrigações. Os valores médios máximos de fluxo de seiva medidos durante o

período de avaliação foram 9,04; 4,57; 3,08; 2,58 e 1,97 mL h⁻¹, para os turnos de rega de 2, 4, 6, 8 e 10 dias, respectivamente.

No turno de rega de dois dias os valores mais altos de fluxo de seiva obtidos em todo período avaliado estão associados ao período de maior demanda atmosférica, ou seja, maiores valores de déficit de pressão de vapor de água na atmosfera (DPVar), que ocorreram entre 39 e 49 DAD, alcançando valores máximos em torno 6,7 kPa, sendo o maior valor de fluxo de seiva registrado para o período em torno de 11,94 mL h⁻¹.

O DPVar controla a transpiração dos vegetais, uma vez que elevados valores levam a um aumento da diferença de gradiente de potencial hídrico entre a folha e a atmosfera, ou seja, ocorre um aumento na demanda evaporativa, que aliada a disponibilidade de água no substrato, levam a uma maior taxa de transpiração, a qual pode ser medida pelo fluxo de seiva xilemática (Pimentel, 2004).

Outra variável que influencia nos maiores valores de fluxo de seiva obtidos no turno de rega de dois dias é a área foliar das plantas, uma vez que esta representa a área disponível para a transpiração. A área foliar apresentou decréscimo linear conforme o aumento no intervalo entre irrigações, comportamento este, também observado para o fluxo de seiva.

As irrigações eram realizadas ao final da tarde, os maiores valores diários de fluxo de seiva foram registrados no dia seguinte a irrigação. Condições de luz, que representa um sinal externo para a abertura estomática, e a elevada disponibilidade de água no substrato, resultavam na maior absorção de água pelas plantas e conseqüentemente, maior taxa de transpiração.

Com o passar dos dias e a conseqüente redução da água disponível para as plantas, as taxas de fluxo de seiva apresentaram acentuado decréscimo, como pode ser observado nos turnos de rega de 4, 6, 8 e 10 dias, os quais foram submetidos a maiores períodos de restrição hídrica. A falta de suprimento adequado de água, em um primeiro estágio, leva ao fechamento estomático, diminuindo a taxa de transpiração das plantas.

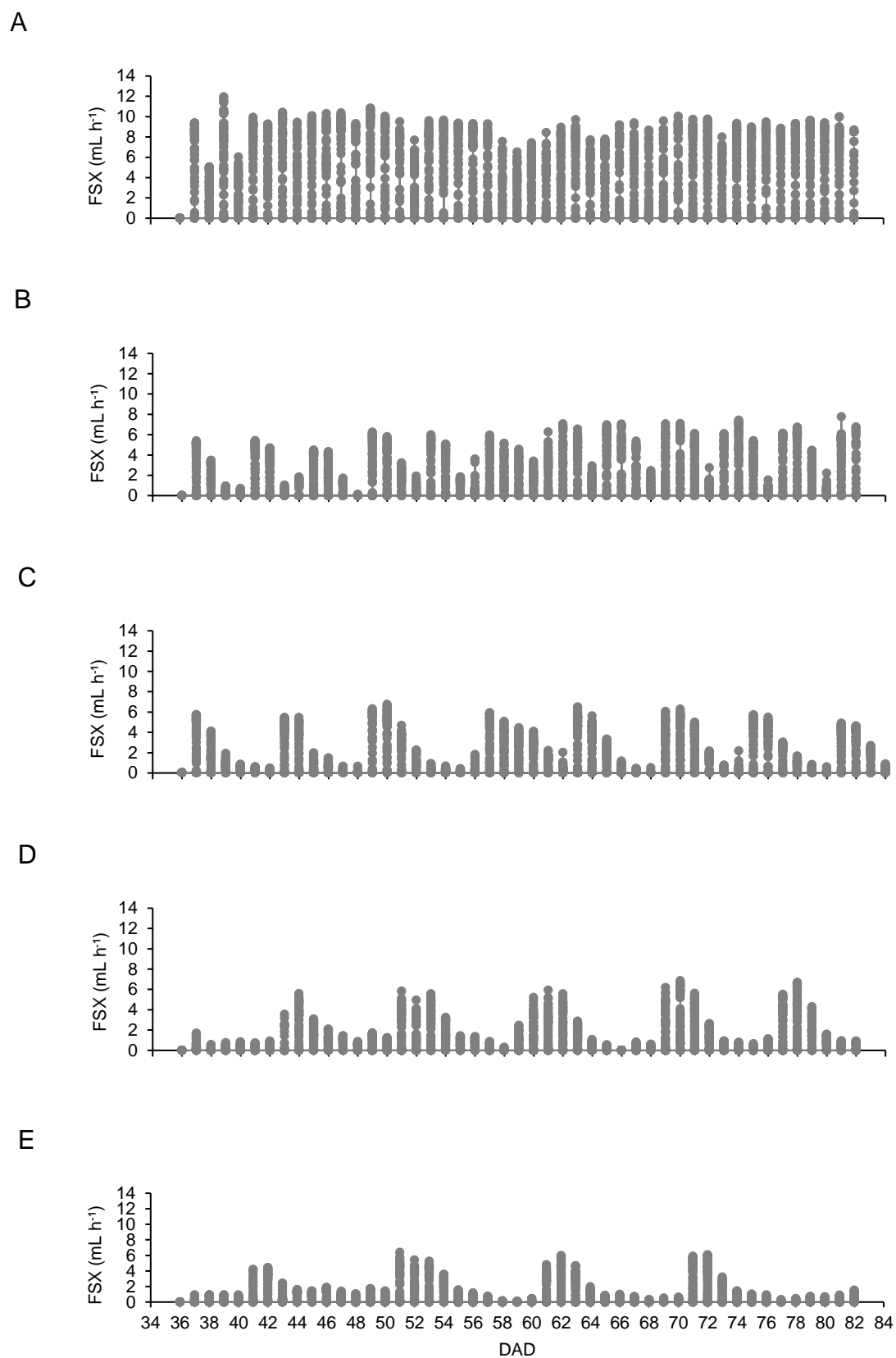


Figura 34. Fluxo de seiva xilemática (FSX) (mL h⁻¹), medido no segundo ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), nos tratamentos: TR2 (A); TR4 (B), TR6 (C), TR8 (D) e TR10 dias (E), no período de 36 a 82 DAD.

Em todos os turnos de rega, os maiores valores horários de fluxo de seiva foram obtidos nos horários de maior demanda atmosférica (maior DPVar), que ocorreram entre às 09h00min e 16h00min. Durante as noites, as temperaturas mais baixas reduziam o DPVar da atmosfera, assim, o fluxo de água da planta para a atmosfera era o mais baixo, atingindo valores próximos a zero por volta das 18h00min.

Não foi observada defasagem de tempo entre a transpiração e a resposta do sensor, fato este que pode ser comprovado pelo súbito incremento do fluxo de seiva xilemática após eventos de irrigação, em que, dependendo das condições de luz do momento, aliado ao aumento do teor de água no substrato, levavam ao aumento da taxa transpiratória da planta.

4.2.10 Coeficiente de estresse hídrico (CEH)

Na Figura 35 é apresentada a relação dos valores de coeficiente de estresse hídrico (CEH), estimados a partir dos dados de fluxo de seiva xilemática e temperatura de referência da planta, em função da frequência de ocorrência acumulada. Os CEH variam entre zero (0) e um (1), em que valores próximos de zero representam uma folha com máxima transpiração (ausência de estresse hídrico) e valores próximos de um representam uma planta com transpiração praticamente nula (estresse hídrico severo).

O turno de rega de dois dias apresentou coeficientes de estresse hídrico variando entre 0,0 e 0,6. Os demais intervalos entre irrigações apresentaram CEH variando entre 0,0 e 1,0, ou seja, estes tratamentos atingiram condições máximas de estresse hídrico (CEH = 1,0).

O menor intervalo entre irrigações apresentou a maior frequência de ocorrência de CEH em torno de 0, ou seja, em aproximadamente 70% do período avaliado as plantas permaneceram sob a ausência de estresse. O turno de rega de quatro dias, durante 70% do período avaliado manteve-se com coeficientes de estresse hídrico variando entre 0,0 e 0,7. Os demais turnos de rega, alcançaram maiores intensidades de estresse para o mesmo período, atingindo o coeficiente de 0,9.

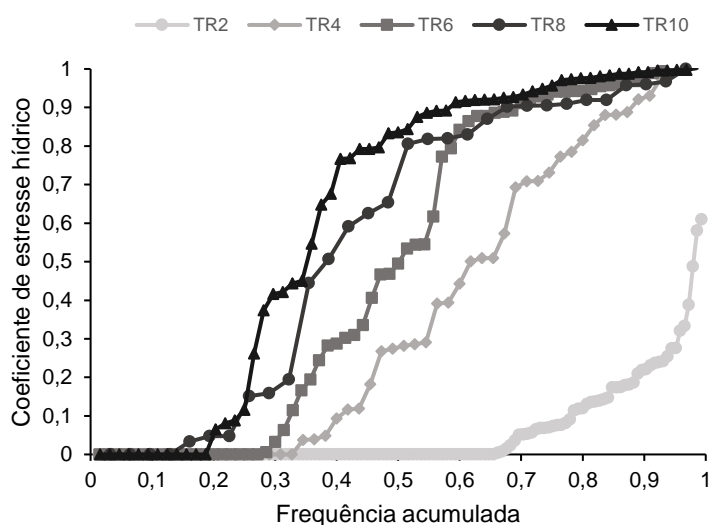


Figura 35. Relação do coeficiente de estresse hídrico com a frequência de ocorrência, para os tratamentos TR2, TR4, TR6, TR8 e TR10 dias, no segundo ciclo produtivo da cultura.

A partir da relação dos coeficientes de estresse hídrico com a frequência de ocorrência, foram calculadas áreas de intensidade/frequência de estresse hídrico, para cada turno de rega, sendo elas 0,063; 0,368; 0,496; 0,564 e 0,628% para os intervalos entre irrigações de 2, 4, 6, 8 e 10 dias, respectivamente.

As áreas de intensidade/frequência de estresse hídrico foram relacionadas com algumas variáveis avaliadas, sendo elas, altura de planta, massa seca do caule, área foliar e massa seca das folhas, apresentando uma ótima correlação, com valores de coeficiente de determinação (R^2) iguais a 0,93; 0,99; 0,91 e 0,99, respectivamente (Figuras 36A, 36B, 36C e 36D).

Os primeiros incrementos na intensidade/frequência de estresse hídrico, foram suficientes para expressivas reduções das variáveis avaliadas (Figura 36). Para uma dada ocorrência de estresse hídrico, haverá um maior ou menor impacto sobre o crescimento e produtividade da cultura, a depender da intensidade e duração com que esse estresse ocorre (Doorenbos e Kassan, 1979).

O turno de rega de quatro dias, que apresentou uma intensidade/frequência de estresse de 0,368, obteve uma redução de aproximadamente 50% nas variáveis massa seca do caule e massa seca das folhas, quando comparado com a intensidade/frequência de estresse sofrido pelo turno de rega de dois dias (0,063).

A partir de uma dada intensidade/frequência de estresse os decréscimos das variáveis passam a não ser tão expressivos, para a altura de plantas, por exemplo, observa-se que a partir da intensidade/frequência de 0,496 até a maior intensidade/frequência obtida (0,628), houve um decréscimo de apenas 11,34%. Pode-se inferir que não é necessário que as plantas estejam completamente estressadas para terem seu crescimento e produção altamente comprometidos.

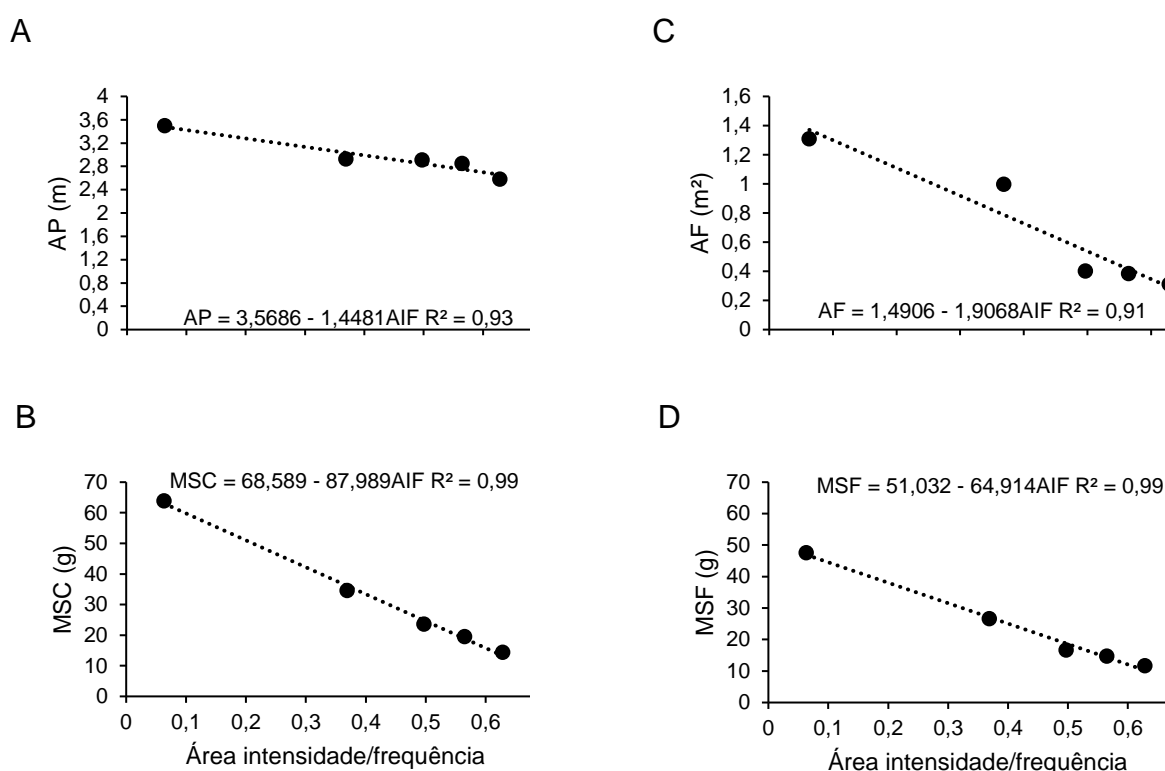


Figura 36. Relação da área intensidade/frequência de estresse hídrico com as variáveis altura de planta (m) (A), massa seca de caule (g) (B), área foliar (m²) (C) e massa seca das folhas (g) (D), no segundo ciclo produtivo.

4.3 Terceiro ciclo produtivo da cultura

Todas as variáveis avaliadas no terceiro ciclo produtivo da cultura foram influenciadas pelos diferentes intervalos entre irrigações. De acordo com os resultados obtidos na análise de variância, os turnos de rega apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade, evidenciando o efeito da restrição hídrica na

diminuição das características de crescimento e produção da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus L.*).

4.3.1 Lâminas aplicadas, drenadas e transpiradas

Os valores de lâminas de água aplicadas após a diferenciação dos tratamentos, bem como os valores das lâminas drenadas e transpiradas podem ser verificados na Figura 37. A maior lâmina foi aplicada no tratamento com menor turno de rega (192,0 L planta⁻¹) e decresceu conforme o aumento do intervalo entre irrigações, sendo 76,56% maior que a lâmina total aplicada no tratamento com irrigação a cada cinco dias.

As lâminas drenadas e transpiradas também decresceram conforme o aumento do turno de rega. A lâmina transpirada no menor turno de rega foi 72,99% superior a lâmina transpirada no tratamento com irrigação a cada cinco dias. O decréscimo das lâminas se deve aos menores eventos de irrigação que ocorreram ao se aumentar os intervalos entre irrigações.

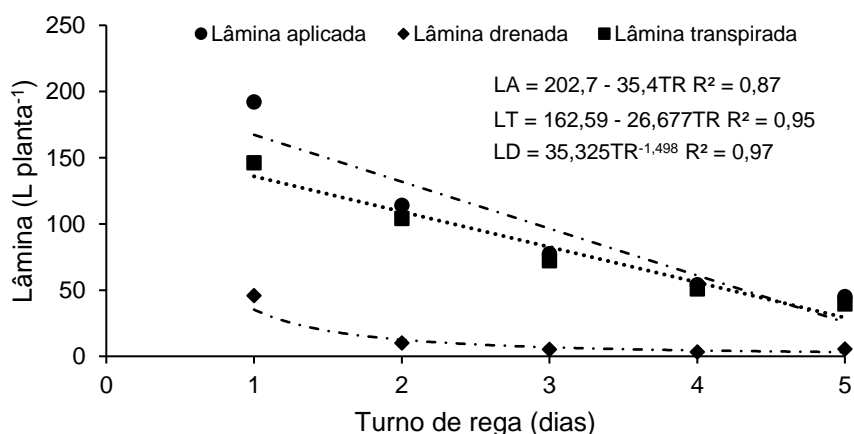


Figura 37. Lâmina aplicada (LA) (L planta⁻¹), lâmina transpirada (LT) (L planta⁻¹) e lâmina drenada (LD) (L planta⁻¹) nos diferentes turnos de rega, no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo.

4.3.2 Diâmetro de caule

Na Figura 38 estão apresentados os valores diâmetro de caule, avaliados aos 28, 38, 48, 58, 68 e 78 DAD. A variável apresentou decréscimo linear em todas as avaliações, com valores superiores para os menores intervalos entre irrigações. Durante o período de avaliação (50 dias) a taxa de incremento desta variável foi de $0,01 \text{ mm dia}^{-1}$ para todos os tratamentos.

Os intervalos entre as irrigações promoveram perdas de - 0,34; - 0,35; - 0,33; - 0,34; - 0,34 e - 0,36, relativas a cada aumento unitário do turno de rega, aos 28, 38, 48, 58, 68 e 78 DAD, respectivamente.

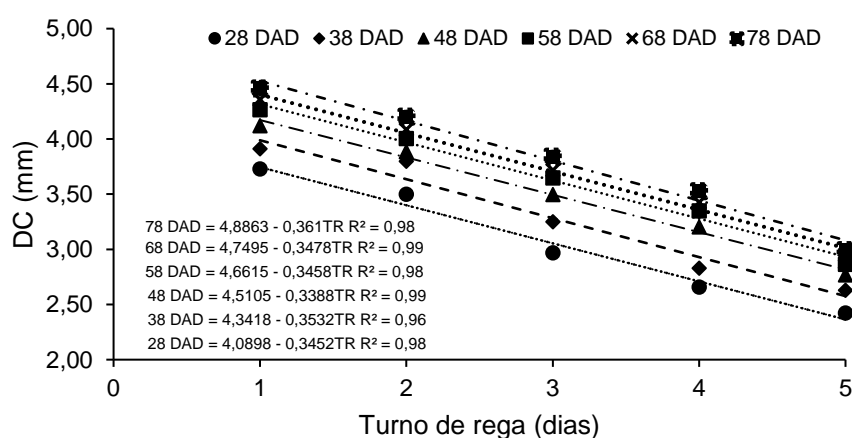


Figura 38. Diâmetro de caule (DC) (mm), no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega, aos 28, 38, 48, 58, 68 e 78 DAD.

4.3.3 Altura de planta

A altura de planta apresentou comportamento quadrático, o valor máximo foi de 5,48 m para o turno de rega de um dia e o valor mínimo foi de 3,28 m para o turno de rega de cinco dias (Figura 39). O crescimento das plantas é dependente dos carboidratos produzidos na fotossíntese, se esse processo é interrompido pelo fechamento estomático proveniente da desidratação, as plantas podem ter seu desenvolvimento paralisado (Kozłowski et al., 1990).

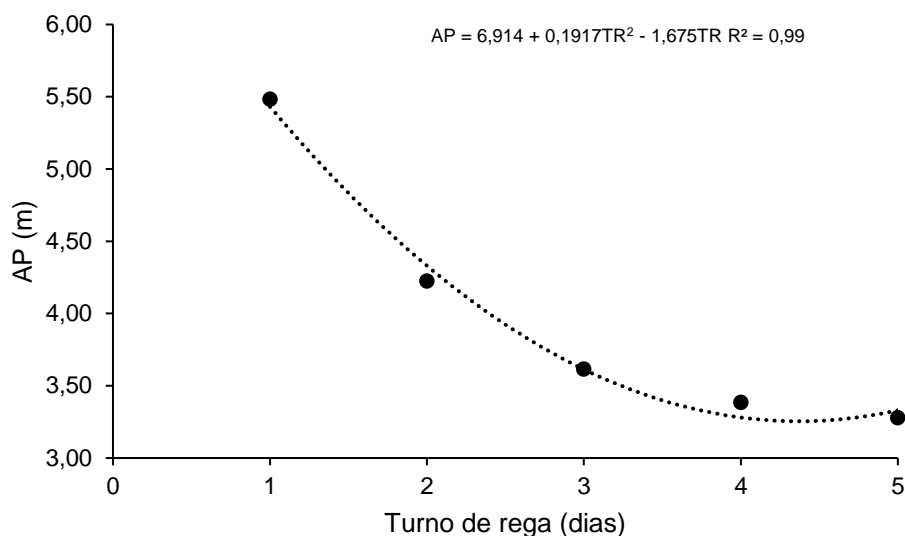


Figura 39. Altura de planta (AP) (m), no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.3.4 Massa seca de caule e folhas

Os valores de massa seca do caule e massa seca das folhas apresentaram decréscimo linear (Figuras 40A e 40B). Plantas submetidas a condições de máximo déficit hídrico (turno de rega de cinco dias) tiveram reduções de 63,42% no acúmulo de biomassa no caule e 41,07% nas folhas, comparativamente ao tratamento com turno de rega de dois dias.

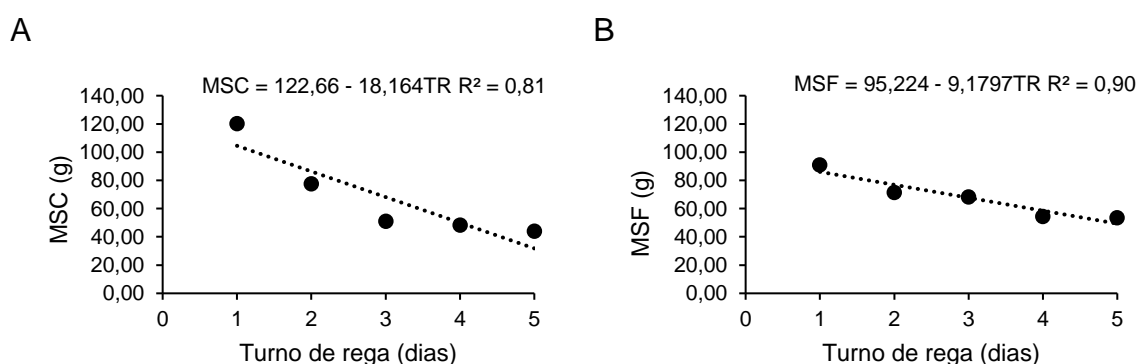


Figura 40. (A) Massa seca do caule (MSC) (g) e (B) Massa seca das folhas (MSF) (g), no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.3.5 Área Foliar

A área foliar apresentou decréscimo linear, com valores superiores para os menores intervalos entre irrigações. Houve uma redução de 45,48%, com o aumento de dois para cinco dias sem irrigação (Figura 41). Esta redução da área foliar para os maiores intervalos entre irrigações está relacionada a um dos mecanismos de adaptação da planta ao estresse hídrico, consistindo no decréscimo de produção da área foliar, fechamento dos estômatos, da aceleração senescência e abscisão das folhas, limitando não só o número de folhas, mas também o tamanho das folhas (Taiz e Zeiger, 2004).

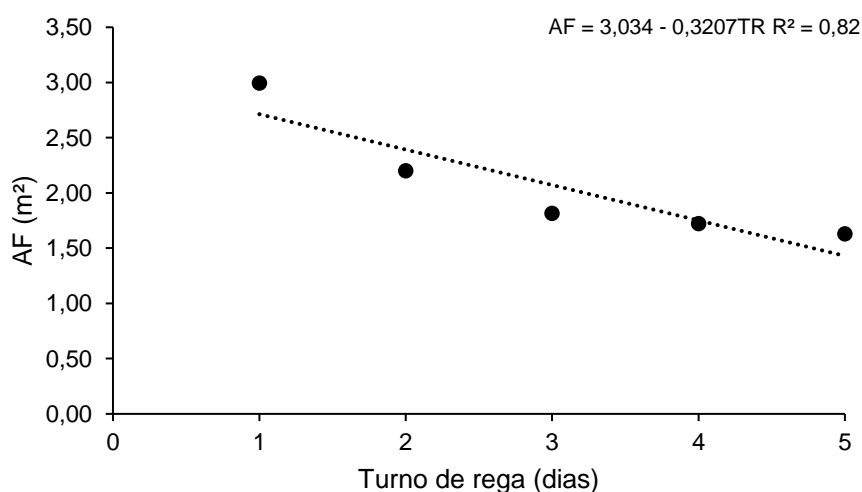


Figura 41. Área foliar (AF) (m²), no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.3.6 Índice SPAD

Os maiores valores de índice SPAD foram obtidos nos menores intervalos entre irrigações, estes variaram linearmente de 46,25 a 31,83 (Figura 42). Segundo Torres Netto et al. (2005), leituras SPAD inferiores a 40 indicam o início da deficiência de clorofila, o que afeta o processo fotossintético. Diante disto, infere-se que a partir do turno de rega de dois dias houve degradação da clorofila.

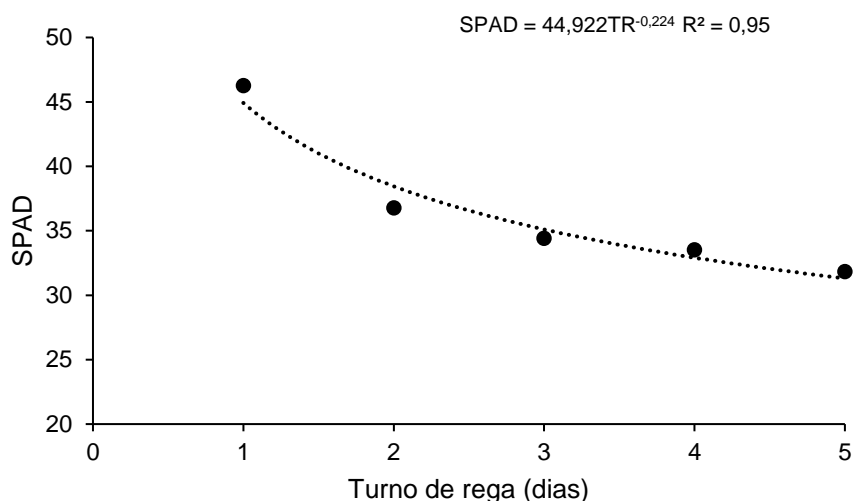


Figura 42. Índice SPAD, no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.3.7 Condutância estomática

Os resultados de condutância estomática foram significativos nos dois horários avaliados (Figura 43). Nas avaliações realizadas às 07h00min a maior condutância estomática foi registrada no turno de rega de um dia, sendo 339,35 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, observou-se uma redução de 35,59% com o aumento de um para cinco dias sem irrigação.

Já para as medidas realizadas no horário de maior temperatura (12h00min), o maior valor de condutância estomática foi 260,38 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, também registrado para o turno de rega de um dia, observou-se uma redução de 20,49% com o aumento de um para cinco dias sem irrigação.

O estresse hídrico afeta a condutância estomática, e conseqüentemente a atividade fotossintética. A desidratação promove perda de turgor das células-guarda, ocasionando o fechamento estomático. A redução na condutância estomática, leva a um menor influxo de CO_2 para os cloroplastos, reduzindo as taxas fotossintéticas, contribuindo para menor acúmulo de biomassa (Taiz e Zeiger (2004).

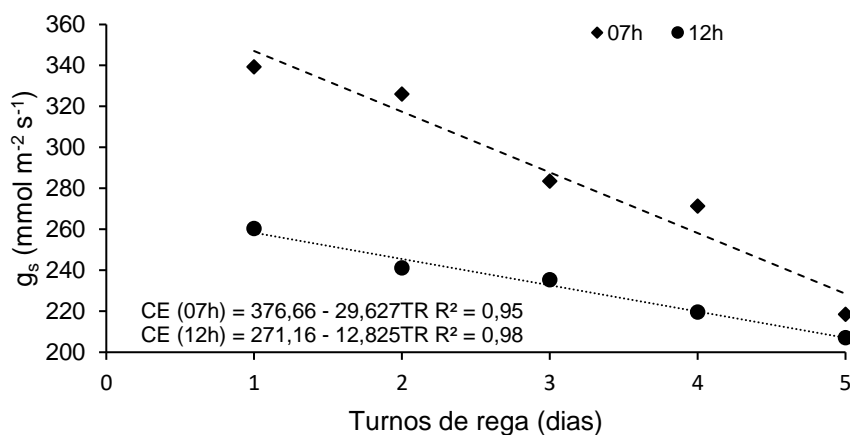


Figura 43. Conduatância estomática (g_s) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.3.8 Massa seca e volume de raiz

As variáveis massa seca e volume de raiz apresentaram decréscimo linear com o aumento dos turnos de rega (Figuras 44A e 44B). Plantas submetidas a condições de máximo déficit hídrico tiveram reduções de 52,90% no acúmulo de biomassa na raiz e 53,87% no volume de raiz, comparativamente ao tratamento com menor turno de rega. A eficiência do sistema radicular em absorver água e nutrientes depende de alguns dos seus atributos, como profundidade, volume e densidade (Pimentel, 2004).

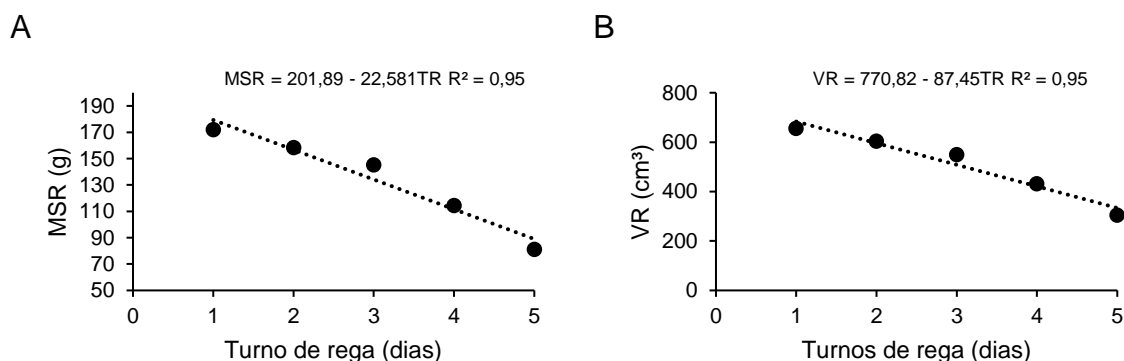


Figura 44. (A) Massa seca de raiz (MSR) (g) e (B) Volume de raiz (VR) (cm^3), no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

4.3.9 Relação massa seca de raiz por massa seca da parte aérea

A razão da relação massa seca de raiz por massa seca de parte aérea apresentou ajuste potencial (Figura 45).

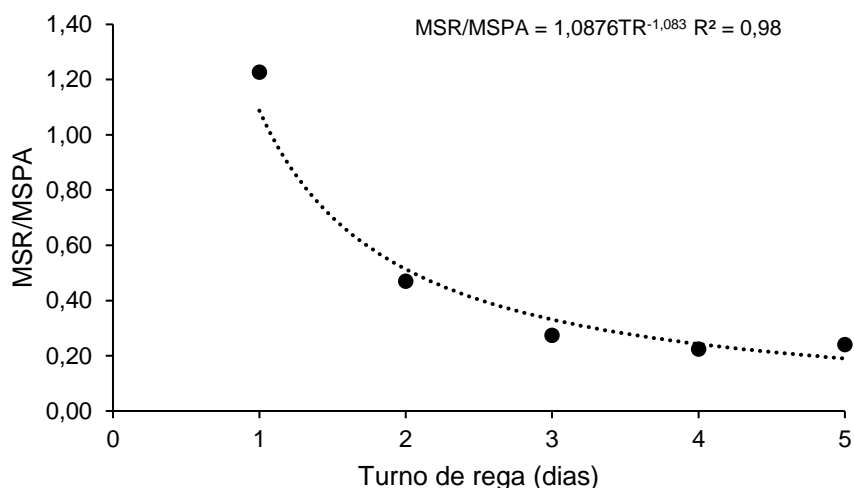


Figura 45. Relação massa seca de raiz/massa seca de parte aérea, no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), sob diferentes turnos de rega.

O maior valor da relação MSR/MSPA foi obtido no turno de rega de um dia (1,23), com decréscimo expressivo da variável até o turno de rega de três dias (0,27), evidenciando que os menores intervalos entre irrigações proporcionaram maior acúmulo de biomassa na raiz, em detrimento da parte aérea.

A razão MSR/MSPA representa o grau de equilíbrio existente entre a biomassa que é produzida pelo sistema radicular e a produzida pela parte aérea, menores valores indicam limitação do sistema radicular (Taiz e Zeiger, 2013).

Geralmente, em resposta à baixa disponibilidade hídrica, ocorre expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas, como uma alternativa a sobrevivência, em detrimento da parte aérea. O decréscimo nos valores dessa relação, com o aumento dos intervalos entre irrigação, evidencia que a restrição hídrica imposta, não acarretou uma maior alocação de recursos nas raízes em detrimento a parte aérea.

4.3.10 Número e massa seca de inflorescências

Na Figura 46 estão apresentados os escores referentes ao número de inflorescências, obtidos para os diferentes estádios de desenvolvimento, em função dos diferentes turnos de rega. Os turnos de rega de um e dois dias apresentaram os maiores valores de escores, ou seja, o maior número de inflorescências, no estádio E2. Os turnos de rega de três e quatro dias apresentaram os maiores valores de escore nos estádios E2 e E1. Já o turno de rega de cinco dias apresentou o maior valor de escore para o estádio E1.

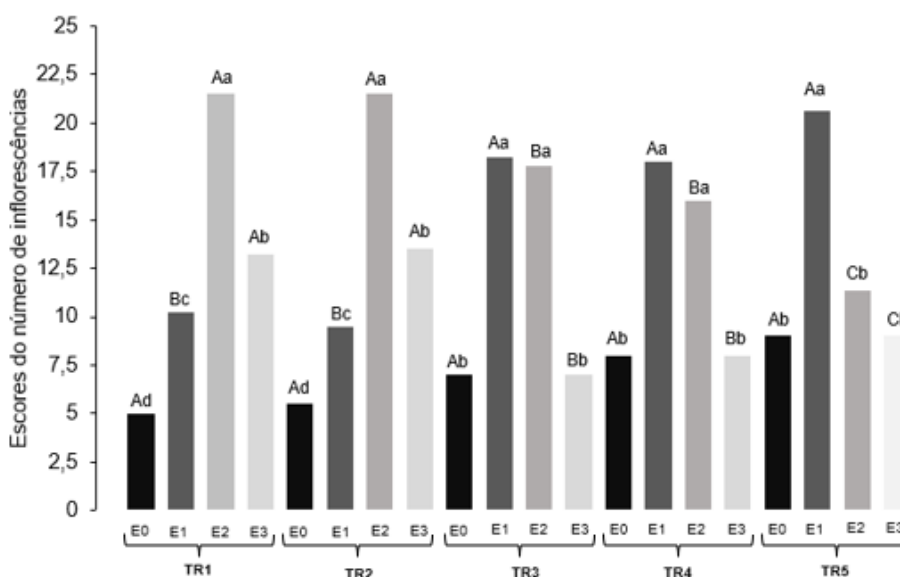


Figura 46. Escores médios referentes ao número de inflorescências, para cada estádio, no terceiro ciclo produtivo da cultura, em função dos diferentes turnos de rega. *Representação dos valores pelas barras seguidas da mesma letra, minúsculas para os estádios dentro de um mesmo tratamento e maiúsculas para os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste t, a 5% de probabilidade.

Os estádios E2 e E3 compreendem os grupos de inflorescências que apresentam “textura de papel”, ou seja, um indicativo que foi alcançado o ponto de maturação fisiológica. Sendo assim, os menores intervalos entre as irrigações contribuíram para o maior número de inflorescências comercializáveis.

O estádio E1 compreende inflorescências com “textura macia”, ou seja, apresentam alto teor de água, e não atingiu a maturação fisiológica. Diante disto,

pode-se inferir que a restrição hídrica, promovida pelo maior intervalo entre irrigações (turno de rega de cinco dias), amplia a fase vegetativa da cultura, atrasando sua produção.

Na Figura 47 estão apresentados os escores referentes à massa seca das inflorescências, obtidos para cada grupo, em função dos diferentes turnos de rega. Os maiores valores de escores referentes à massa seca de inflorescências comercializáveis foram obtidos no turno de rega de um e dois dias (21,5). Os demais turnos de rega apresentaram os maiores valores de escores para os estádios que compreendem inflorescências que não atingiram maturidade fisiológica, ou seja, não são comercializáveis.

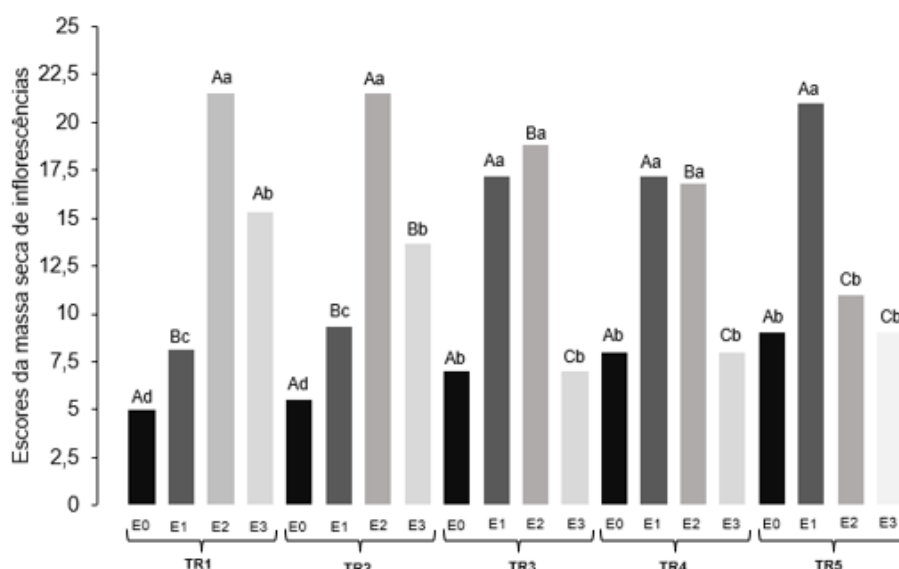


Figura 47. Escores referentes à massa seca das inflorescências, para cada estágio, no terceiro ciclo produtivo da cultura, em função dos diferentes turnos de rega. *Representação dos valores pelas barras seguidas da mesma letra, minúsculas para os estádios dentro de um mesmo tratamento e maiúsculas para os tratamentos, não diferem entre si, pelo teste t, a 5% de probabilidade.

4.3.11 Fluxo de seiva xilemática

As taxas de fluxo de seiva xilemática, no terceiro ciclo produtivo, foram monitoradas no período de 26 a 94 DAD (68 dias), porém, alguns equipamentos apresentaram falhas no decorrer do período avaliado, sendo necessário o

remanejamento de sensores entre as plantas, para que fossem obtidos dados para todos os tratamentos.

Na Figura 48 estão apresentados os valores de fluxo de seiva xilemática (FSX) (mL h^{-1}), medidos no período de 69 a 94 DAD (25 dias). Aos 80 DAD não foram registradas leituras, houve interrupção no fornecimento de energia elétrica na casa de vegetação.

Observou-se decréscimo da variável analisada em função do aumento no intervalo entre irrigações. Os valores médios máximos de fluxo de seiva medidos durante esse período foram 9,08; 6,88; 6,80; 4,10 e 3,47 mL h^{-1} , para os turnos de rega de 1, 2, 3, 4 e 5 dias, respectivamente.

Os valores mais altos de fluxo de seiva obtidos entre 69 e 94 DAD estão associados ao período de maior demanda atmosférica, ou seja, maiores valores de déficit de pressão de vapor de água na atmosfera (DPVar), que ocorreram entre 68 e 78 DAD, alcançando valores máximos em torno 2,95 kPa.

As irrigações foram realizadas ao final da tarde, os maiores valores diários de fluxo de seiva para os turnos de rega de dois, três, quatro e cinco dias foram registrados no dia seguinte a irrigação. Para todos os turnos de rega, os maiores valores horários de fluxo de seiva foram obtidos nos períodos de maior DPVar, que ocorreram entre às 09h00min e 16h00min. Durante as noites, as temperaturas mais baixas reduziam o DPV da atmosfera, assim, o fluxo de água da planta para a atmosfera era o mais baixo, atingindo valores próximos a zero por volta das 18h00min.

As taxas de fluxo de seiva obtidas no terceiro ciclo produtivo foram inferiores às registradas no segundo ciclo, para os mesmos intervalos entre irrigações. No terceiro ciclo produtivo foram registradas as menores temperaturas médias, estas variaram entre 18,08 e 27,72°C, enquanto no segundo ciclo produtivo, estas variaram entre 22,84 e 32,24°C.

Normalmente, à medida que a temperatura do ar decresce, ocorre aumento na umidade relativa, e são essas variáveis que determinam o DPVar. Assim, menores valores de temperatura acarretam menores valores de DPVar. No segundo ciclo produtivo foram registrados valores máximos de DPVar em torno de 6,7 kPa, enquanto no terceiro ciclo os valores máximos foram em torno de 3,9 kPa. Como o DPVar controla a transpiração dos vegetais, infere-se que houve uma menor demanda da atmosfera sob as plantas do terceiro ciclo produtivo.

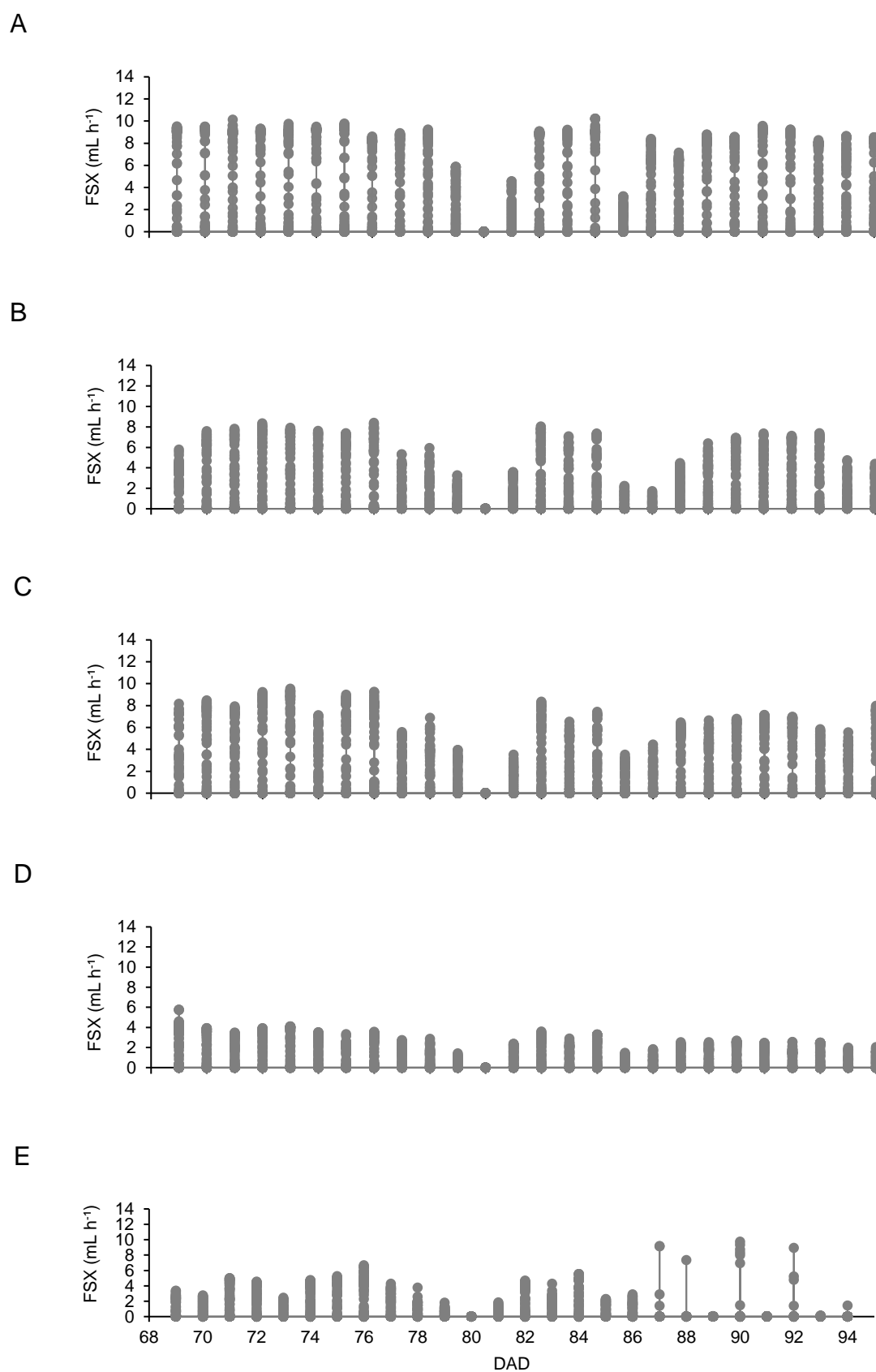


Figura 48. Fluxo de seiva xilemática (FSX) (mL h⁻¹), medido no terceiro ciclo produtivo da cultura do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), nos tratamentos: TR1 (A); TR2 (B), TR3 (C), TR4 (D) e TR5 dias (E), no período de 69 a 94 DAD.

4.3.12 Coeficiente de estresse hídrico (CEH)

Na Figura 49 é apresentada a relação dos valores de coeficiente de estresse hídrico (CEH), estimados a partir dos dados de Fluxo de seiva xilemática e temperatura de referência da planta, em função da frequência de ocorrência acumulada. Os CEH variam entre zero (0) e um (1), em que valores próximos de zero representam uma folha com máxima transpiração (ausência de estresse hídrico) e valores próximos de um representam uma planta com transpiração praticamente nula (estresse hídrico severo).

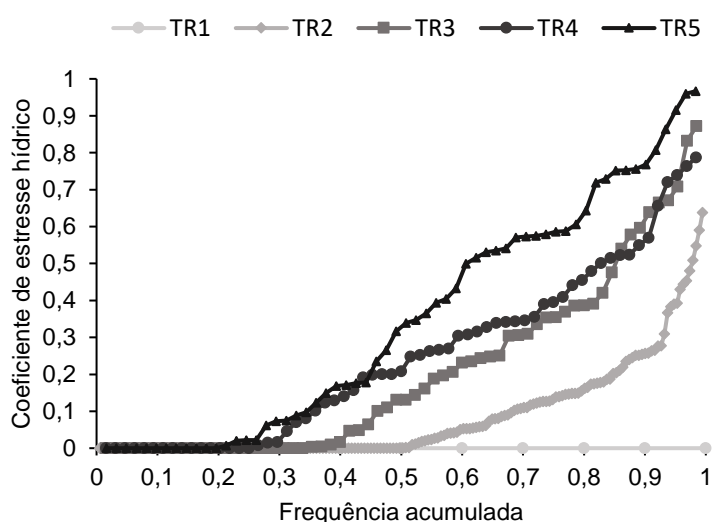


Figura 49. Relação do coeficiente de estresse hídrico com a frequência de ocorrência, para os tratamentos TR1, TR2, TR3, TR4 e TR5 dias, no terceiro ciclo produtivo da cultura.

O turno de rega de um dia foi o único que se manteve na ausência de estresse em todo o período avaliado, ou seja, permaneceu com $CEH = 0$. Os demais intervalos entre irrigações apresentaram estresse hídrico em algum momento do período avaliado.

O turno de rega de dois dias permaneceu aproximadamente 50% do período avaliado sob ausência de estresse, alcançando valores máximos de CEH em torno de 0,63. Os demais turnos de rega, alcançaram maiores intensidades de estresse. O maior coeficiente de estresse hídrico foi registrado para o turno de rega de cinco dias, sendo 0,97.

A partir da relação dos coeficientes de estresse hídrico com a frequência de ocorrência, foram calculadas áreas de intensidade/frequência de estresse

hídrico, para cada turno de rega, sendo elas 0,000; 0,085; 0,197; 0,237 e 0,334% para os intervalos entre irrigações de 1, 2, 3, 4 e 5 dias, respectivamente.

As áreas de intensidade/frequência de estresse hídrico foram relacionadas com algumas variáveis avaliadas, sendo elas, altura de planta, massa seca do caule, área foliar e massa seca das folhas, apresentando uma boa correlação, com valores de coeficiente de determinação (R^2) iguais a 0,86; 0,85; 0,85 e 0,87, respectivamente (Figuras 50A, 50B, 50C e 50D).

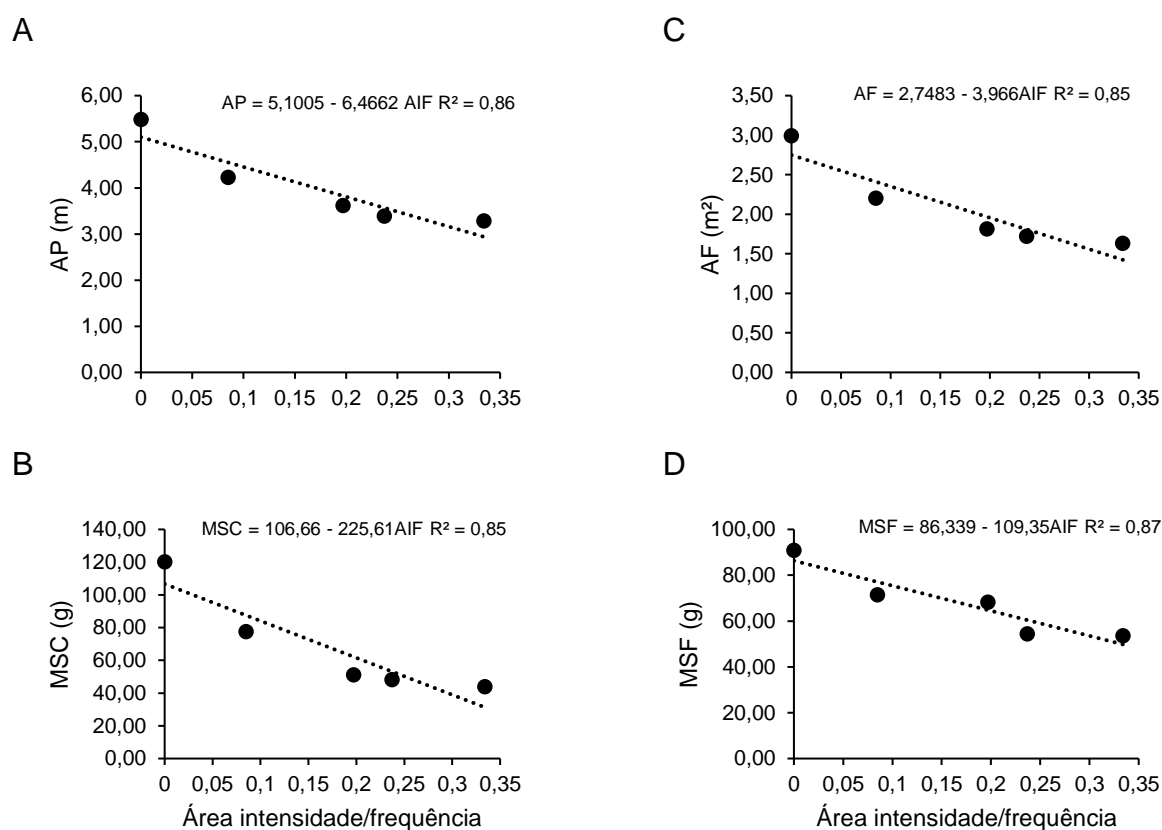


Figura 50. Relação da área intensidade/frequência de estresse hídrico com as variáveis altura de planta (m) (A), massa seca de caule (g) (B), área foliar (m²) (C) e massa seca das folhas (g) (D), no terceiro ciclo produtivo.

O comportamento de todas as variáveis correlacionadas foi semelhante ao longo do incremento da área intensidade/frequência de estresse hídrico. O turno de rega de um dia não apresentou estresse hídrico, considerou-se então que as

plantas deste tratamento expressaram o seu máximo desempenho de desenvolvimento e produção.

Observou-se um acentuado decréscimo das variáveis avaliadas até o turno de rega de três dias (área intensidade/frequência de 0,197) a partir daí os decréscimos passaram a não ser tão expressivos. Para a altura de plantas, por exemplo, houve uma redução de 33,94% quando comparados os turnos de rega de um e três dias, referentes ao intervalo de área intensidade/frequência de estresse de 0 a 0,197. Do turno de rega de três dias ao de cinco dias (área intensidade/frequência de 0,197 a 0,334, respectivamente) a taxa de decréscimo se estabiliza, ficando em torno de 9,39%.

Comparando-se os decréscimos obtidos nas variáveis avaliadas do segundo ciclo produtivo, em relação ao aumento das áreas de intensidade/frequência de estresse hídrico, com os decréscimos obtidos no terceiro ciclo produtivo, observou-se comportamento semelhante nos dados par turnos de rega iguais ou próximos. Na Figura 51 estão apresentados os valores de massa seca de caule, obtidos no segundo e terceiro ciclo produtivo da cultura, em relação a área intensidade/frequência de estresse.

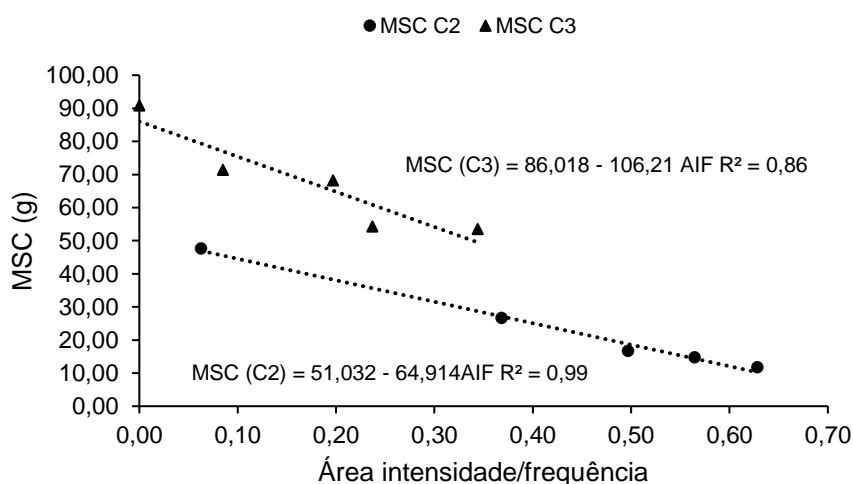


Figura 51. Relações da área intensidade/frequência de estresse hídrico com a variável massa seca de caule (g), obtidas no segundo e terceiro ciclo produtivo do lúpulo.

Considerando-se que no terceiro ciclo produtivo as plantas do turno de rega de um dia não apresentaram estresse, sendo assim, expressaram o seu máximo desempenho, o maior acúmulo de biomassa no caule foi 90,88 g por planta. Os turnos de rega de dois dias, de ambos os ciclos de produção, apresentaram área de intensidade/frequência muito próximas, sendo 0,063 e 0,085, para os ciclos de produção dois e três, respectivamente.

Apesar do terceiro ciclo produtivo ter sido conduzido com três hastes, metade das hastes conduzidas no segundo ciclo (6 hastes), os valores de biomassa acumulada no caule foram superiores aos alcançados no segundo ciclo. Nos primeiros ciclos, é recomendado que a cultura do lúpulo seja conduzida com mais hastes, conforme ela vai atingindo sua maturidade, com expansão das raízes verdadeiras e rizomas no solo, a quantidade de hastes para condução da cultura se reduz nos ciclos seguintes.

Os menores valores de massa seca de caule obtidos no terceiro ciclo produtivo, ocorreram na área intensidade/frequência de 0,344 (TR5), próximo da área intensidade/frequência obtida no TR4 dias (0,565). No segundo ciclo produtivo, onde foram avaliados maiores intervalos entre irrigações, o menor valor para a variável foi obtido no TR10 dias, com área intensidade frequência de 0,628.

Na Figura 52 estão apresentados os decréscimos de produção da variável massa seca de caule, obtidos no segundo e terceiro ciclo produtivo da cultura, em relação à área intensidade/frequência de estresse. As áreas de intensidade/frequência de estresse promoveram perdas de - 1,27 e - 1,23, para o segundo e terceiro ciclo produtivo, respectivamente, relativas a cada aumento unitário.

Esses valores muito próximos evidenciam uma resposta semelhante das plantas de lúpulo, do segundo e terceiro ciclo produtivo, ao estresse hídrico que foram impostas. Ou seja, mesmo se tratando de períodos distintos de avaliação, a planta segue o mesmo comportamento em relação às perdas de produção, influenciadas pela restrição hídrica.

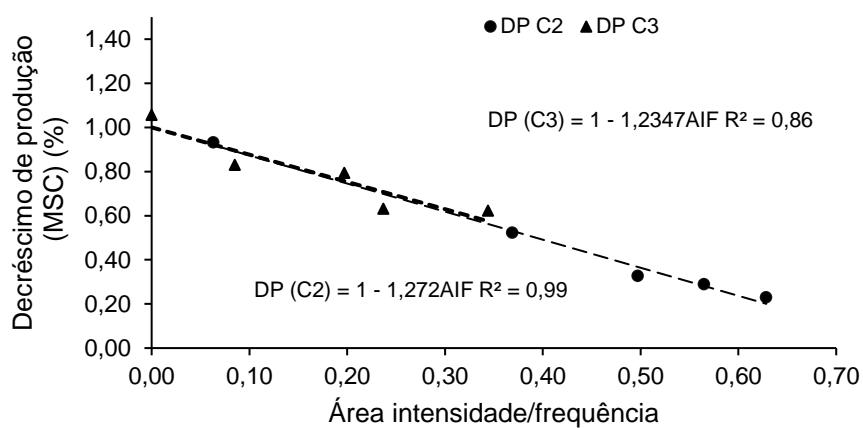


Figura 52. Relação da área intensidade/frequência de estresse hídrico com o decréscimo de produção da variável massa seca de caule (%), obtidos no segundo e terceiro ciclo produtivo do lúpulo.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Essa pesquisa foi dividida em três experimentos, que corresponderam a três ciclos produtivos da cultura do lúpulo. No primeiro e segundo ciclos foram adotados os tratamentos TR2- Turno de rega de 2 dias, TR4- Turno de rega de 4 dias, TR6- Turno de rega de 6 dias, TR8- Turno de rega de 8 dias e TR10- Turno de rega de 10 dias. Todas as variáveis avaliadas nos dois primeiros ciclos foram afetadas negativamente pelo aumento no intervalo entre as irrigações. Esse impacto foi maior para o segundo ciclo produtivo, o qual obteve as maiores taxas de decréscimo das variáveis avaliadas, quando comparados os maiores e menores intervalos entre irrigações.

No segundo ciclo produtivo, foram realizadas medições de fluxo de seiva xilemática, e a partir dos dados obtidos foram estimados coeficientes de estresse hídrico (CEH). Os CEH variam entre zero (0) e um (1), em que valores próximos de zero representam uma folha com máxima transpiração (ausência de estresse hídrico) e valores próximos de um representam uma planta com transpiração praticamente nula (estresse hídrico severo).

O menor turno de rega avaliado (TR2) se manteve na maior parte do tempo sob a ausência de estresse (CEH = 0), porém, em alguns momentos ele alcançou o CEH de 0,6. Diante disto, foi realizado outro experimento, onde as plantas do terceiro ciclo foram impostas à metade dos turnos de rega aplicados no primeiro e segundo ciclo produtivo, ou seja, TR1- Turno de rega de 1 dia, TR2- Turno de rega

de 2 dias, TR3- Turno de rega de 3 dias, TR4- Turno de rega de 4 dias e TR15- Turno de rega de 5 dias.

O terceiro ciclo também foi afetado negativamente pelo aumento no intervalo entre irrigações. Porém, as taxas de decréscimo das variáveis avaliadas, foram as menores obtidas, quando comparados os maiores e menores turnos de rega. O menor turno de rega avaliado, TR1 dia, não apresentou estresse hídrico, permanecendo em todo o período avaliado com CEH = 0, sendo assim, as plantas desse tratamento expressaram o máximo desempenho de crescimento e produção.

O aumento no intervalo entre as irrigações promove reduções no crescimento e produção da cultura do lúpulo. Para as condições de cultivo do primeiro e segundo ciclo produtivo o turno de rega de dois dias é o mais indicado para o manejo da irrigação. Para as condições de cultivo do terceiro ciclo produtivo, é recomendado o turno de rega de um dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109.
- Almeida, C.A.B. (2012) *Transpiração em Coffea canephora: lisimetria, fluxo de seiva e balanço hídrico*. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Recife - PE, Universidade Federal de Pernambuco. 112 p.
- Aprolúpulo - Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo (2022): <https://www.aprolupulo.com.br/estatisticas> em: 06 abr. 2023.
- Aquino, A.M. de, Teixeira, A.J., Fonseca, M.J. de O., Assis, R.L. de, Ozassa, T.I. (2022) Produção de lúpulo na Região Serrana Fluminense: manual de boas práticas. Nova Friburgo, RJ: Associação Comercial, Industrial e Agrícola de Nova Friburgo - ACIANF. 140 p.
- Araújo, S.A.C., Deminiciis, B.B. (2009) Fotoinibição da fotossíntese. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 7, n. 4, p. 463-472.
- Benincasa, M.M.P. (2003) *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: FUNEP, 41 p.
- Bernardo, S., Soares, A.A., Mantovani, E.C. (2009). *Manual de irrigação: atualizada e ampliada*. 8.ed. Viçosa: Editora UFV. 625 p.

- Brito, J.A., Subbotin, S.A., Desaeger, J., Achinelly, F., Qiu, S. (2018) First report of the root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) infecting hops (*Humulus lupulus*) in Florida, USA. *Journal of Nematology*, v. 50, n. 4, p. 543-544.
- Calder, I. A. (1990) *Evaporation in the uplands*. John Wiley and Sons, Chichester. 148 p.
- Carter, J.L., White, D.A. (2009) Plasticity in the Huber value contributes to homeostasis in leaf water relations of a mallee Eucalypt with variation to groundwater depth. *Tree Physiology*, v. 29, n. 11, p. 1407-1418.
- Cermák, J., Demil, M., Penka, M. (1973) A new method of sap flow rate determination in trees. *Biol. Plant.* 15. p.171–178.
- Critchley, P., Harbaoui, Y., Lemeur, (1998) In: RAGAVENDRA, A. S. *Photosynthesis: a comprehensive treatise*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 264-272.
- Dodds, K. (2017) *Hops: a guide for new growers*. New South Wales: Department of Primary industries. 52 p.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H. (1979) Efeito da água no rendimento das culturas. Roma. *Irrigation and Drainage Paper*, v. 33, p. 306.
- Durello, R.S., Silva, L.M., Bogusz, S. (2019) Química do lúpulo. *Química Nova*, v. 42, n. 8, p. 900-919.
- Eriksen, R.L., Rutto, L.K., Dombrowski, J.E., Henning, J.A. (2020) Photosynthetic Activity of Six Hop (*Humulus lupulus* L.) Cultivars under Different Temperature Treatments. *HortScience*, v. 55, n. 4, p. 403-409.
- Evans, R. (2003) Hop management in water-short periods. Drought Advisory: <http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/em4816/em4816.pdf> em: 06 dez. 2012.
- 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*, v. 77, p. 204-217.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021): <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> em: 06 dez. 2022.

Fernández, J.E., Green, S.R., Caspari, H.W., Diaz-Espejo, A., Cuevas, M.V. (2008) The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Plant and Soil*, v. 305, n. 1-2, p. 91-104.

Galote, J.K.B. (2021) *Sistema de aquisição de dados e medição de fluxo de seiva para estimativa de transpiração em plantas*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 107p.

Graf, T., Beck, M., Portner, J., Baumgartner, A., Mauermeier, M., Ismann, D., Maier, M., Schmidhalter, U. (2019) A new approach for predicting the water balance of hops. *Acta Horticulturae*, v. 1236, p. 63-74.

Granier, A. (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *An. des Sciences Forestieres*, v. 42, n. 2, p. 193-200.

Júnior, P.A.V., Neto, D.D., de Oliveira, R.F., Peres, L.E.P., Martin, T.N., Manfron, P.A., Bonnacarrère, R. A. G. (2007) Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 29, n. 4, p. 555-561.

Kozlowski, T.T., Kramer, P.J., Pallardy, S.G. (1990) *The physiological ecology of woody plants*. London: Academic Press, 657 p.

Krause, G.H., Weis, E. (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annual Review Plant Physiology. *Plant Molecular Biology*, v. 42, p. 313-349.

Krieg, D.R. (1993) Stress tolerance mechanisms in above ground organs. p. 65-79. In: Proceedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress. INTSORMIL, Nebraska.

- Leite, G.B., Pandolfo, C. (2022) Requerimentos agroclimáticos para a cultura do lúpulo. *Agropecuária Catarinense*, v. 35, n. 2, p. 83-86.
- Levitt, J. (1980) Response of plants to environmental stress. II: Water radiation, salt and other stress. New York: Academic Press, 606 p.
- Marcos, J.A.M., Nadal, J.L.O., Andi3n, J.P., Alonso, J.V., Pedreira-Ramisquido, J.M.G., Paz, J.F. (2011) *Guia del cultivo del lúpulo*. Galicia. 33 p.
- Marin, F.R., Ribeiro, R.V., Angelocci, L.R., Righi, E. Z. (2008) Fluxo de seiva pelo método do balanço de calor: base teórica, qualidade das medidas e aspectos práticos. *Bragantia*, v. 67, p. 1-14.
- 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*, v. 149, p. 913-919.
- Ortuño, M.F., Alarc3n, J.J., Nicolás, E., Torrecillas, A. (2004) Comparison of continuously recorded plant-based water stress indicators for young lemon trees. *Plant and Soil*, v. 267, p. 263-270.
- Ortuño, M.F., Garcia-Orellana, Y., Conejero, W., Ruiz-Sanchez, M.C., Alarc3n, J.J., Torrecillas, A. (2006) Stem and leaf water potentials, gases exchange, sapflow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees*, v. 20, n. 1, p. 1-8.
- Pimentel, C. (2004) *A rela33o da planta com a 3gua*. Seropédica: Edur, 191 p.
- Pistelli, L., Ferri, B., Cioni, P.L., Koziara, M., Agacka, M., Skomra, U. (2018) Aroma profile and bitter acid characterization of hop cones (*Humulus lupulus* L.) of five healthy and infected Polish cultivars. *Industrial Crops and Products*, v. 124, p. 653-662.
- Potop, V. (2014) The impact of dry and wet events on the quality and yield of Saaz hops in the Czech hop growing regions. *Mendel a bioclimatology*, v. 14, p. 253-263.

- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing (2022): <https://www.r-project.org/> em: 01 mar. 2022.
- Ramos, G.C.B., Pandolfi, M.A.C. (2019) A evolução do mercado de cervejas artesanais no Brasil. *Revista Interface Tecnológica*, v. 16, n. 1, p. 480-488.
- Rodrigues, M.A., Morais, J.S., Castro, J.P.M. (2015) *Jornada de lúpulo e cerveja: novas oportunidades de negócios*. Bragança: Livro de Atas. 118 p.
- 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*, v. 11, n. 6, p. 484.
- Sakuratani, T. (1981) A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *Journal of Agricultural Meteorology*, v.37, n.1, p. 9-17.
- Santos, R.F., Carlesso, R. (1998) Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, p. 287-294.
- Schreiber, U.B.W.N., Bilger, W., Neubauer, C. (1995) Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis. *Ecophysiology of photosynthesis*, p. 49-70.
- Silva, E.C.D., Nogueira, R.J.M.C., Azevedo Neto, A.D.D., Santos, V.F.D. (2003) Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. *Acta Botanica Brasílica*, v. 17, p. 231-246.
- Skomra, U. (2015) *Metodyka integrowanej ochrony chmielu*. Puławy: Wyd. IUNG, 91 p.
- Sobrinho, O.P.L., da Silva, G.S., dos Santos, L.N.S., Júnior, W.L.C., Pereira, Á.I. S., Teixeira, M. B., Gomes, L.F., Reis, M.N.O., Soares, J.A.B. (2020) Técnicas de dendrometria no manejo da irrigação: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, p. 1-21.

- Spósito, M.B., Ismael, R.V., Barbosa, C.M.A., Tagliaferro, A.L. (2019) *A cultura do lúpulo*. Piracicaba: ESALQ. 82 p.
- Strasser, R.J., Srivasta, A., Tsimilli-Michel, M. (2000) The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M; Pathre, U; Mohanty, P. (eds), *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation*. London, Taylor and Francis, p. 445 - 483.
- Strauss, A.J., Krüger, G.H.J., Strasser, R.J., Van Heerden, P.D.R. (2006) Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. *Environmental and Experimental Botany*, v. 56, p.147-157.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: E. Artmed S.A. 719 p.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2013) *Fisiologia Vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: E. Artmed S.A., 819 p.
- Torres Netto, A., Campostrini, E., Oliveira, J.G., Bressan-Smith, R.E. (2005) Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 104, n. 2, p. 199-209.
- Tuberosa, R., Sanguineti, M.C., Landi, P. (1994) Abscisic acid concentration in leaf and xylem sap, leaf water potential, and stomatal conductance in maize. *Crop Science*, Madison, v. 34, p.1537-1563.
- Turner, S.F., Benedict, C.A., Darby, H., Hoagland, L.A., Simonson, P., Serrine, J.R., Murphy, K.M. (2011) Challenges and Oportunities for Organic Hop Production in the United States. *Agronomy Journal*. v. 103, n. 6, p. 1645-1654.
- Van Cleemput, M., Cattoor, K., De Bosscher, K., Haegeman, G., De Keukeleire, D., Heyerick, A. (2009) Hop (*Humulus lupulus*) - derived bitter acids as multipotent bioactive compounds. *Journal of natural products*, v. 72, n. 6, p. 1220-1230.