

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Filocrono e evapotranspiração da cultura do lúpulo em região de clima tropical

Ígor Augusto Campos Barreto

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2022**

Ígor Augusto Campos Barreto
Engenheiro Agrônomo

Filocrono e evapotranspiração da cultura do lúpulo em região de clima tropical

Orientador:
Prof. Dr. **FELIPE GUSTAVO PILAU**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Piracicaba
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Barreto, Ígor Augusto Campos

Filocrono e evapotranspiração da cultura do lúpulo em região de clima tropical/
Ígor Augusto Campos Barreto. - - Piracicaba, 2022.

59 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz”.

1. *Humulus lupulus* L. 2. Temperatura basal 3. Crescimento vegetal 3. Área
foliar 4. Consumo hídrico 4. Lisímetro 5. Irrigação I. Título

DEDICATÓRIA

“À minha família, professores e amigos que fizeram parte de cada passo da minha jornada, e sem os quais, nada disso seria possível.”

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, pela vida e pela saúde.

Aos meus pais, Fernando e Vanusa., e à minha irmã, Isabela, por todo apoio e incentivo à minha formação acadêmica e profissional.

A toda minha família, pelo apoio durante essa nova etapa da minha vida.

Ao Prof. Dr. Felipe Gustavo Pilau pela orientação, conselhos, ensinamentos, oportunidades e apoio durante a realização deste trabalho. Gostaria de agradecer também pela confiança em mim depositada e pela amizade durante todos esses anos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, pela oportunidade do curso de mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas.

À ESALQtec. e à Fazenda Areão ESALQ-USP, pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento da pesquisa científica.

À Agromakers, pelo fornecimento da estrutura, equipamentos e assistência técnica durante o experimento. Em especial, agradecer ao CEO, Dr. Leandro Fellet Lourenço, por todo apoio, ensinamentos e contribuições para a realização do trabalho durante a parceria.

Aos amigos e colegas de trabalho que fiz durante a passagem pela Agromakers, Vitor Gagno, Djalma Vieira, Felipe Covolam, Carlos Bogas, João Pedro Tirabassi e Ana Michele Pereira, por toda ajuda durante o experimento e pela amizade.

À Hops Brasil pela parceria e pelo fornecimento das mudas para a realização do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

Aos Professores da Pós-Graduação da ESALQ pelos ensinamentos.

Aos Amigos, Edilson Simão, Guilherme Saraiva, Gabriel Müller, Willian Fazolin e Mariana Florêncio pelos anos de amizade e apoio ao longo da minha Pós-graduação.

EPÍGRAFE

“Aprender uma lição sem dor, não tem significado. Isso porque as pessoas não conseguem obter nada sem sacrificar alguma coisa.

Mas, quando elas superam as dificuldades e conseguem o que querem, as pessoas conquistam um coração forte que não perde pra nada. É! Um coração forte como aço”.

(ARAKAWA, Hiromu).

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	11
1.1. Objetivos	14
1.1.1. GERAL.....	14
1.1.2. ESPECÍFICOS	14
2. TEMPERATURA BASAL E DO FILOCRONO DE UMA CULTIVAR DE LÚPULO	19
Resumo	19
Abstract.....	19
2.1. Introdução	20
2.2. Material e Métodos.....	22
2.3. Resultados e Discussão.....	27
2.4. Conclusão.....	33
3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO LÚPULO EM CLIMA TROPICAL	39
Resumo	39
Abstract.....	39
3.1. Introdução	40
3.2. Material e Métodos.....	42
3.3. Resultados e Discussão.....	47
3.4. Conclusão.....	52
4. CONCLUSÕES GERAIS.....	59

RESUMO

Filocrono e evapotranspiração da cultura do lúpulo em região de clima tropical

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta nativa das regiões de clima temperado do hemisfério norte. Suas inflorescências femininas, comumente denominadas “cones de lúpulo” são um dos quatro principais ingredientes da cerveja. Tradicionalmente o lúpulo é cultivado em uma faixa terrestre restrita as latitudes de 40° a 50° em ambos os hemisférios, em razão a restrições climáticas. Entretanto, devido à crescente popularidade do mercado global de cervejas artesanais houve um forte aumento na demanda mundial de lúpulo, levando a cultura a ultrapassar as fronteiras de cultivo tradicionais, avançando para regiões de baixas latitudes com climas subtropicais e tropicais. Dentro deste novo cenário mundial, o Brasil vem ganhando destaque devido ao seu pungente mercado cervejeiro e seu potencial agrícola para a produção da cultura. Entretanto o país ainda carece de estudos sobre o comportamento agrônomo da cultura produzida nas condições edafoclimáticas locais. Essa falta de informações acaba atrasando e dificultando o desenvolvimento de novas práticas de manejo que aperfeiçoem a produção. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento e o consumo hídrico do lúpulo frente as condições meteorológicas do município de Piracicaba, SP, região de clima tropical. O trabalho foi realizado em uma área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” em Piracicaba-SP, durante o período de abril de 2021 à janeiro de 2022. Para o experimento foram utilizadas sete plantas de lúpulo (var. *Cascade*), conduzidas em vasos sob sistema de treliça baixa. Das sete plantas, três foram conduzidas sob lisímetros de pesagem que mensuravam o consumo hídrico da cultura e controlavam um sistema de irrigação por gotejo, de modo todas as plantas fossem supridas hidricamente durante todo ciclo. Além do consumo hídrico da cultura, durante esse período avaliou-se o crescimento da cultura através da emissão de folhas e área foliar. Os principais resultados obtidos com o estudo mostraram uma forte relação entre o crescimento da cultura do lúpulo, representado através da a emissão de folhas, com temperatura do ar; o crescimento da cultura, quando quantificado a partir da área foliar, foi temporalmente exponencial, sem transparecer prejuízo por questão térmica; a condição térmica, entre os meses de março e junho de 2021 manteve a cultura do lúpulo em crescimento, sem dormência no período de inverno e a demanda hídrica do lúpulo apresentou correlação com a disponibilidade de energia e demanda atmosférica, e com o crescimento da cultura do lúpulo expresso pela sua área foliar.

Palavras-chave: *Humulus lupulus* L.; Consumo hídrico; Crescimento vegetal; Temperatura do ar.

ABSTRACT

Phyllochron and evapotranspiration of hop crop in tropical climate region

The hop (*Humulus lupulus* L.) is a plant native to the temperate regions of the northern hemisphere. Its feminine inflorescences, commonly called of "hop cones" are one of the four main ingredients of beer. Traditionally, hops are grown in a land strip restricted to latitudes from 40° to 50° in both hemispheres, due to climatic restrictions. However, due to the growing popularity of the global craft beer market, there has been a strong increase in world demand for hops, leading the culture to go beyond traditional cultivation boundaries, advancing to low latitude regions with subtropical and tropical climates. Within this new world scenario, Brazil has been gaining prominence due to its pungent beer market and its agricultural potential for the production of culture. However, the country still lacks studies on the agronomic behavior of the produced under local edaphoclimatic conditions. This lack of information ends up delaying and hindering the development of new management practices that improve production. Thus, the present study aimed to evaluate the growth and water consumption of hops under the meteorological conditions of the municipality of Piracicaba-SP, a region with a tropical climate. The work was carried out in an experimental area of the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" in Piracicaba SP, from April 2021 to January 2022. Seven hop plants (var. *Cascade*) were used for the experiment. in pots under a low trellis system. Of the seven plants, three were conducted under weighing lysimeters that measured the water consumption of the crop and controlled a drip irrigation system, so that all plants were water supplied throughout the cycle. In addition to the water consumption of the culture, during this period the growth of the culture was evaluated through the emission of leaves and leaf area. The main results obtained with the study showed a strong relationship between the growth of the hop culture, represented by the emission of leaves, with air temperature; the growth of the culture, when quantified from the leaf area, was temporally exponential, without showing any damage due to thermal issues; the thermal condition, between March and June 2021, kept the hop crop growing, without dormancy in the winter period and the hop water demand was correlated with the availability of energy and atmospheric demand, and with the growth of the crop of the hops expressed by its leaf area.

Keywords: *Humulus lupulus* L.; Water consumption; Plant growth; Air temperature.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta trepadeira, perene e dióica, nativa das regiões de clima temperado do hemisfério norte (FORTESCHI et al., 2019; SPÓSITO et al., 2019). A planta pertence à ordem Urticales e Rosales, à família Cannabaceae e ao gênero *Humulus* (ALMAGER, 2014). O gênero *Humulus* possui três espécies: *H. lupulus*, *H. japonicus* e *H. yunnanensis* (DODDS, 2017), das quais apenas a *H. lupulus*, denominado lúpulo comum, tem valor comercial. Isso se deve à maior concentração de lupulina em suas inflorescências, substância de grande importância para as indústrias farmacêutica e alimentícia, em especial para produção de cervejas (SCHÖMBERG, 2011; ALMAGUER, 2014; SILVA et al. 2019; GUIMARÃES, 2020).

Tradicionalmente cultivada em regiões de clima temperado, suas inflorescências femininas, comumente denominadas “cones de lúpulo”, possuem tricomas glandulares que secretam um pó resinoso amarelado, contendo os óleos essenciais e reninas (α - e β -ácidos) (AMALGUER, 2014; CEOLA, 2019; SPÓSITO et al., 2019).

Os “cones de lúpulo” são um dos quatro principais ingredientes da produção cervejeira, junto à água, malte e leveduras (BIENDL; PINIZI, 2008; SILVELLO, 2019). Nessa indústria, os cones podem ser adicionados à produção em diversas etapas do processo, como na fervura do mosto, fermentação secundária e processo de envelhecimento, fornecendo à bebida diferentes intensidades de sabor e aroma (McCALLUM et al., 2019).

Segundo Meier (2017), a cultura do lúpulo é uma “cultura icônica” cultivada em uma faixa terrestre restrita. Isso porque as plantas crescem melhor em clima temperado, com abundante fonte de água, com temperaturas médias durante o ciclo de 20 a 30°C e um fotoperíodo de 17h durante sua floração. Essas condições são tipicamente encontradas entre 40° e 50° latitude, com altitudes variando de 1.000 a 1.200 metros (HAUNOLD, 1980; MAHAFFEE et al., 2009; EBY, 2011; SIRRINE 2015; SPÓSITO et al., 2019; KORPELAIEN; PITILLÄEN, 2021).

Mackegård (2021) faz destaque à importância do fotoperíodo para a cultura, principal fator indutor reprodutivo, também assinalando a necessidade de 16 a 18 horas por dia (THOMAS; SCHWABE, 1969; ISKRA et al., 2019). Essa condição permite, além da indução

do florescimento, um melhor desenvolvimento e produtividade das plantas, dada a longa duração dos dias (AGEHARA et al., 2020).

Atualmente, o lúpulo é produzido comercialmente em 22 países, perfazendo uma área de 62.110 ha, e uma produção anual de 122 mil toneladas (IHGC, 2021). Os líderes mundiais na produção são os Estados Unidos, com 47.540 toneladas e a Alemanha, com 46.878 toneladas (IHGC, 2021). Nesses países destacam-se as regiões de Hallertau, na Alemanha, e Yakima, nos Estados Unidos (JASTROMBEK et al, 2022).

Com a crescente popularidade global das cervejas artesanais, houve um forte aumento na demanda mundial de lúpulo, levando muitos proprietários de cervejarias e microcervejarias a iniciarem seus próprios cultivos. Esse movimento tem feito o lúpulo passar as tradicionais fronteiras de cultivo, avançando para regiões de baixas latitudes (AMORIELLO, 2019; POKRIVČÁK et al., 2019; SYSTEMBOLAGET, 2020; ROSSINI, et al., 2021). Na Europa, esse movimento culminou no cultivo o lúpulo em países localizados ao sul do continente, a exemplo da Itália, agregando-se às indústrias do lúpulo de Portugal e Espanha (ROSSINI e al., 2021).

Dentro deste novo cenário mundial, o Brasil também vem ganhando destaque na produção da cultura (DE-SOUZA et al., 2021; JASTROMBECK et al., 2022). O país é o terceiro maior fabricante mundial de cerveja, com 13,3 bilhões de litros produzidos ao ano, atrás apenas da China (46 bilhões) e dos Estados Unidos (22,1 bilhões). Essa indústria gera R\$ 77 bilhões em faturamento representando, 2% do PIB e 14% da indústria (SINDCERV, 2020). Segundo dados do Anuário da Cerveja de 2019, o país já conta com cerca de 1291 cervejarias e apresentou, nos últimos vinte anos, uma taxa de crescimento anual média de 19,6%.

Porém, apesar do mercado cervejeiro favorável, o Brasil ainda importa quase todo o lúpulo utilizado, cerca de 98% dos EUA e Alemanha (BERBERT, 2017; SILVA, 2019). Isso representa cerca de 3500 toneladas ano⁻¹, a um custo de US\$ 60 milhões (Cerv. BRASIL, 2020). Essa dependência de matéria prima importada encarece a produção e, muitas vezes, limita o mercado a um produto de menor qualidade, devido ao tempo de armazenamento e transporte (CEOLA, 2020).

Apesar dos relatos sobre tentativas de cultivo do lúpulo no Brasil serem do século 19, a produção nacional em escala comercial é recente (JASTROKBERK et al, 2022). Devido às

condições climáticas e sua posição geográfica, a produção de lúpulo era considerada inviável para o Brasil (CHAGAS; GARCIA, 2018). Entretanto, após várias tentativas, alguns produtores brasileiros obtiveram êxito no cultivo (SILVA, 2019; JASTROKBERK et al, 2022).

Atualmente, com áreas de produção espalhadas entre os estados do Sul, Centro-Oeste e Sudeste, e mais recentemente, até no Nordeste (SARNIGHAUSEN, SARNIGHAUSEN, DAL PAI, 2017; CEOLA, 2020; FAGHERAZZI, 2020), a área de produção já está próxima aos 50 hectares (RUFATO; FAGHERAZZI, 2019; CEOLA, 2020).

Apesar do potencial para produção já vislumbrado, o país carece de estudos sobre crescimento, desenvolvimento, potencial produtivo e qualidade dos “cones” produzidos nas condições edafoclimáticas locais. Como previamente descrito, o lúpulo é uma cultura de clima temperado que vem sendo adaptada às condições tropicais e subtropicais brasileiras e, dessa forma, muitas das características da planta e práticas de manejo foram alteradas perante à adaptação ao novo ambiente de cultivo.

Hoje, devido ao clima brasileiro, principalmente pelas condições amenas do inverno, os produtores conseguem duas safras ao ano, diferente das zonas tradicionais de produção onde se tem apenas uma safra (SPÓSITO et al., 2019; GUIMARÃES et al., 2021; JASTROMBEK et al., 2022). Entretanto, justamente a carência de informações acaba atrasando e dificultando o desenvolvimento de novas práticas de manejo que aperfeiçoem a produção. Basicamente o manejo despendido para produção é baseado naquilo feito nos ambientes temperados e, por vezes, não se ajustam às nossas condições (SPÓSITO et al., 2019).

Segundo Jastrombek et al. (2022), a temperatura do ar, o fotoperíodo, a radiação solar e a disponibilidade hídrica são os principais elementos meteorológicos a serem considerados nas áreas de produção, sendo crucial entender as respostas das plantas a esses fatores para que se aperfeiçoe a seleção de cultivares, as épocas recomendadas para plantio e colheita, os manejos, a irrigação, dentre outras práticas agrícolas (SPÓSITO et al., 2019; JASTROMBEK et al., 2022).

1.1. Objetivos

1.1.1. Geral

O objetivo principal deste estudo foi avaliar o crescimento e o consumo hídrico do lúpulo no município de Piracicaba, SP, região de clima tropical.

1.1.2. Específicos

- i- Caracterizar o crescimento, especificamente a emissão de folhas, e relacionar à temperatura do ar.
- ii- Determinar a temperatura basal e tempo térmico (Filocrono) para emissão foliar.
- iii- Quantificar o consumo hídrico das plantas de lúpulo.

Referências

- AGEHARA, Shinsuke. Using supplemental lighting to control flowering of hops in Florida: HS1365, 4/2020. **EDIS**, v. 2020, n. 2, 2020.
- ALMAGUER, Cynthia et al. *Humulus lupulus*—a story that begs to be told. A review. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 120, n. 4, p. 289-314, 2014.
- AMORIELLO, T. Multi-criteria approach for land suitability assessment of hop cultivation in Italy. **Int. J. Agric. Environ. Res.** 2019, 5, 277–286.
- BERBERT, S. **Conheça a produção de lúpulo brasileiro** - Revista Globo Rural. Disponível em:
<<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/02/conhecaproduc-ao-de-lupulo-brasileiro.html>>**Agricultura**. Acesso em: 08 de jun. de 2022.
- BIENDL, M.; PINZI, C. **Hops and health**. Wolnzach: German Hop Museum Wolnzach, 2008.

CEOLA, D., **Aspectos do lúpulo no Brasil.**, 2020. Disponível em: <http://beerschool.com.br/2020/03/23/aspectos-do-lupulo-no-brasil/>. Acesso em: 08 de mai. de 2022.

CEOLA, Duan et al. Headspace-solid phase microextraction and GC-MS followed by multivariate data analysis to study the effect of hop processing type and dry hopping time on the aromatic profile of top-fermented beers. **Separation Science Plus**, v. 2, n. 7, p. 245-252, 2019.

Cerv. Brasil, 2020: **Anuário da cerveja edição 2019.** Em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/wp-content/uploads/2020/03/anuario-cerveja-WEB.pdf. Acesso em: 08 de mai. de 2022.

CHAGAS, E.; GARCIA, L. Lúpulo em pleno crescimento no Brasil. **Revista da Cerveja**, v. 36, p. 52-56, 2018.

DODDS, K. **Hops: a guide for new growers.** New South Wales: Department of Primary industries, 2017.

DE-SOUZA, R. et al. Growth regulators and their reflection on different hop genotypes cultivated under in vitro conditions. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2021.

EBY, S., **Hops, *Humulus lupulus*:** an investigation of agricultural practices and how producers are linked with business networks and consumers, Nuffield Canada, 2011.

FAGHERAZZI, M. M. **Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do planalto Sul Catarinense.** 2020. 79 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2020.

FORTESCHI, Mauro et al. Quality assessment of cascade hop (*Humulus lupulus* L.) grown in Sardinia. **European Food Research and Technology**, v. 245, n. 4, p. 863-871, 2019.

GUIMARÃES, Bernardo Pontes; EVARISTO, Rafael Benjamin Werneburg; GHESTI, Grace Ferreira. Prospecção tecnológica do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) e suas aplicações com ênfase no mercado cervejeiro brasileiro. **Cadernos de Prospecção**, v. 14, n. 3, p. 858-858, 2021.

- GUIMARÃES, João de Jesus. **Comportamento agrônômico do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) em cultivo protegido submetido a irrigações com diferentes faixas de pH da água na região de Botucatu-SP.** 2020.
- HAUNOLD, A. Hop. In: W.R. Fehr, H.H. Hadley (Eds.), Hybridization of crop plants. **American Society of Agronomy**, Madison, WI, USA, pp 393-406,1980.
- IHGC(2021) International hop grower's convention. Economic Commission. Summary reports. November 2020. Disponível em: http://www.hmelj-giz.si/ihgc/doc/2020_NOV_IHGC_EconCommReport.pdf. Acesso em: 20 de mai. de 2022.
- ISKRA, Anne E. et al. Influence of nitrogen fertility practices on hop cone quality. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 77, n. 3, p. 199-209, 2019.
- JASTROMBEK, Jessiane Mary et al. Hop: an emerging crop in subtropical areas in Brazil. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 393, 2022.
- KORPELAINEN, Helena; PIETILÄINEN, Maria. Hop (*Humulus lupulus* L.): traditional and present use, and future potential. **Economic Botany**, p. 1-21, 2021.
- MACKEGÅRD, Ida Elisabeth. **A hopeful study of hop.** 2021.
- MAHAFFEE, Walter F. et al. **Compendium of hop diseases and pests.** American Phytopathological Society (APS Press), 2009.
- MCCALLUM, Jason L. et al. Phytochemical characterization of wild hops (*Humulus lupulus* ssp. *lupuloides*) germplasm resources from the Maritimes region of Canada. **Frontiers in Plant Science**, p. 1438, 2019.
- MEIER, H. (2017). **The Barth report.** 140 years barth-report Nuremberg: Joh. Barth & Sohn GmbH & Co. Disponível em: <http://www.barthhaasgroup.com/images/mediacenter/>. Acesso em: 21 de jul. de 2022.
- POKRIVČÁK, Ján et al. Development of beer industry and craft beer expansion. **Journal of Food & Nutrition Research**, v. 58, n. 1, 2019.

- ROSSINI, Francesco et al. 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, 2021.
- RUFATO, L.; FAGHERAZZI, M. M. **Aspectos técnicos da cultura do lupúlo**: Série Plantas Úteis; UDESC: Florianópolis, Brasil, 2019.
- SARNIGHAUSEN, P.; SARNIGHAUSEN, V. C. R.; DAL PAI, A. **O Lúpulo e a oportunidade do Agronegócio no Brasil**. 6a Jornada de Iniciação Científica da FATEC de Botucatu, 23 a 27 de outubro de 2017, Botucatu, São Paulo, Brasil.
- SCHÖNBERGER, Ch; KOSTELECKY, T. 125th anniversary review: the role of hops in brewing. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 117, n. 3, p. 259-267, 2011.
- SILVA, CTD. Caracterizações químicas dos primeiros cultivares de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) produzidos no Brasil. 2019.
- SILVELLO, G. C. **Qualidade química e perfil sensorial da cerveja envelhecida em barris de diferentes madeiras**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. doi:10.11606/D.11.2019.tde-23052019-170957. Acesso em: 04 mai. 2022.
- SINDCERV, 2020 Em: <https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>. Acesso em: 08 de mai. de 2022.
- SIRRINE, R. **Michigan Fresh**: growing hops (E3210). January 26, 2015. Disponível em: https://www.canr.msu.edu/resources/michigan_fresh_growing_hops. Acesso em: 08 de mai. de 2022.
- SPÓSITO, Marcel Bellato et al. **A cultura do lúpulo**. Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca, 2019. 62 p. (Série Produtor Rural, 68).
- SYSTEMBOLAGET. Cceron - nördiga ölsamtal. In: JONAS, N. O. D. O. (ed.) **Ciceron snackar humle**. Systembolaget, 2020.
- THOMAS, G. G.; SCHWABE, W. W. Factors controlling flowering in the hop (*Humulus lupulus* L.). **Annals of Botany**, v. 33, n. 4, p. 781-793, 1969.

2. TEMPERATURA BASAL E DO FILOCRONO DE UMA CULTIVAR DE LÚPULO

Resumo

O lúpulo é usado como matéria prima na indústria cervejeira, sendo considerado ingrediente fundamental para a caracterização dos produtos cervejeiros modernos. Com o aumento do número de microcervejarias, a busca por produtos diferenciados incentivou o avanço da produção de lúpulo para áreas de cultivo não tradicionais de clima subtropical. Frente a essas novas condições meteorológicas, o crescimento e o desenvolvimento das variedades de lúpulo apresentam distinções em relação ao observado nas áreas de produção tradicionais, em clima temperado. Assim, para compreender esses novos aspectos ecofisiológicos é fundamental que se analise a resposta da planta aos elementos meteorológicos, em especial, à temperatura do ar. Dessa forma, diante da crescente expansão da área e produção de lúpulo no Brasil, o objetivo deste trabalho foi determinar a temperatura basal inferior (T_b) e o tempo térmico para a emissão de folhas (filocrono), caracterizando o crescimento da cultura em uma região de clima tropical. A T_b foi determinada através dos métodos do Menor Desvio Padrão em Dias (SD_d) e do Coeficiente de Variação em Graus Dia (CV_{gd}), e o filocrono foi estimado utilizando o método do inverso do coeficiente angular da regressão linear. O trabalho foi realizado em uma área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ($22^{\circ}41' 38''S$, $47^{\circ}38' 29'' O$; 550m). Para o experimento foram utilizadas sete plantas de lúpulo (var. *Cascade*), conduzidas em vasos sob sistema de treliça baixa. Das sete plantas, três foram conduzidas sob lisímetros de pesagem que controlavam um sistema de irrigação por gotejo, de modo que todas as plantas fossem supridas hidricamente durante todo ciclo. O monitoramento da emissão de folhas se estendeu de 17/05/2021 à 20/07/2021. Durante esse período, foram coletados os dados de temperatura mínima, média e máxima do ar, radiação solar global e precipitação pluvial. Os valores de T_b obtidos pelos métodos de CV_{gd} e SD_d foram $5,2^{\circ}C$ e $5,8^{\circ}C$, respectivamente. Em relação à emissão de folhas de lúpulo, observou-se a emissão de uma nova folha em um período que variou de 4 a 10 dias com valores de filocrono de $92^{\circ}C \text{ dia folha}^{-1}$ e $95,8^{\circ}C \text{ dia folha}^{-1}$. A condição térmica, entre os meses de março e junho de 2021, manteve a cultura do lúpulo em crescimento, sem dormência no período de inverno.

Palavras-chave: *Humulus lupulus* L.; Temperatura do ar; Crescimento vegetal.

Abstract

Hops are used as a raw material in the brewing industry, being considered a fundamental ingredient for the characterization of modern brewing products. With the increase in the number of microbreweries, the search for differentiated products encouraged the advancement of hop production to non-traditional cultivation areas in a subtropical climate. Faced with these new meteorological conditions, the growth and development of hop varieties present distinctions in relation to what is observed in traditional production areas, in temperate climates. Thus, in order to understand these new ecophysiological aspects, it is essential to analyze the plant's response to meteorological elements, especially air temperature. T_b was determined using the methods of Least Standard Deviation in Days (SD_d) and Coefficient of Variation in Degree Days (CV_{gd}) and the phyllochron was estimated using the method of the inverse of the slope of the linear regression. The work was carried out in an experimental area of the Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ($22^{\circ}41' 38''S$, $47^{\circ}38' 29'' W$; 550m). For the experiment, seven hop plants (var. *Cascade*) were grown in pots under a low trellis system. Of the seven plants, three were conducted under weighing lysimeters that controlled a drip irrigation system, so that all plants were water supplied throughout the cycle. The monitoring of the issuance of sheets extended from 05/17/2021 to 07/20/2021. During this period, data on minimum, average and maximum air temperature, global solar radiation and rainfall were collected. The T_b values obtained by the CV_{gd} and SD_d methods

were 5.2°C and 5.8°C, respectively. Regarding the emission of hop leaves, it was observed the emission of a new leaf in a period that varied from 4 to 10 days with phyllochron values of 92°C day leaf⁻¹ and 95.8°C day leaf⁻¹. The thermal condition, between March and June 2021, kept the hop crop growing, without dormancy in the winter period.

Keywords: *Humulus lupulus* L.; Air temperature; Plant growth.

2.1. Introdução

O *Humulus lupulus* L., conhecido como lúpulo comum, é uma das três espécies de *Humulus* da família Cannabaceae, sendo esta, a de maior importância econômica (DODDS, 2017; KORPELAINEN; PIETILÄINEN, 2021). Suas inflorescências femininas produzem a lupulina, um pó granuloso usado como matéria prima na indústria cervejeira, conferindo amargor e aroma típicos à bebida. Por isso é considerada ingrediente fundamental para a caracterização dos produtos cervejeiros modernos (DURELLO et al., 2019; FAGHERAEZZI, 2020; MARCEDDU; CARRUBA; SARNO, 2020).

Mundialmente, a área de produção de lúpulo é de 62.110 hectares, concentrada entre latitudes de 35° e 55° de latitudes Norte e Sul, cuja produção anualmente se dá em um período bem definido, entre março e setembro (BIENDL et al., 2015; BAUERLE, 2019). Nessas zonas de clima temperado, os principais produtores são Estados Unidos e Alemanha, responsáveis por 75 a 80% da produção (DURELLO et al., 2019; HOP GROWERS OF AMERICA, 2019).

Do mês de março a junho, em subperíodo vegetativo, a cultura se desenvolve normalmente em temperatura de 20°C a 30°C (AMORIELLO et al 2019; SPÓSITO, 2019). A ocorrência de valores superiores a 35°C - 40°C são prejudiciais, causando paralisação do crescimento e queda dos cones, especialmente quando há predomínio de tempo seco coincidindo com o florescimento (BIENDL et al., 2015). O florescimento, entre junho e agosto, coincide com temperaturas mais amenas (16°C a 17°C), favoráveis ao acúmulo α -ácidos e β -ácidos (SREČEC et al., 2008; KROFTA; KUČERA, 2009; MACKEGÅRD, 2021). Já entre os meses de agosto e setembro, a cultura inicia um período de dormência, induzido por temperaturas inferiores a 4,4°C - 6°C durante 1 a 2 meses, permanecendo nesse estado até março, quando haverá um novo ciclo (DODDS, 2017; AMORIELLO et al., 2019).

No Brasil, apesar de ser o terceiro maior produtor mundial de cerveja, a produção de lúpulo foi sempre muito incipiente (GUIMARÃES et al., 2021). As pequenas áreas de

produção estabelecidas nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (clima subtropical), jamais atenderam à demanda da indústria cervejeira nacional. Dessa forma, o país necessita importar em média 4.000 toneladas de lúpulo por ano (DE-SOUZA et al., 2021).

Entretanto, com o aumento do número de microcervejarias, a busca por produtos diferenciados incentivou a produção de lúpulo em áreas não tradicionais (ROSSINI et al., 2021; JASTROMBEK et al., 2022). Países como o Brasil e Estados Unidos - em especial o estado da Florida, já apresentam avanços expressivos na produção. (AGHEARA et al., 2020; ROSSINI et al., 2021; JASTROMBEK et al., 2022). Assim, vem progredindo o cultivo do lúpulo em áreas de menores latitudes, usando-se variedades adaptadas às condições de clima subtropical e tropical (BREWERS ASSOCIATION, 2020; ACOSTA-RANGEL et al., 2021; AGEHARA et al., 2021).

Frente às condições meteorológicas diferenciadas, o crescimento e desenvolvimento das variedades de lúpulo usadas apresentam distinções em relação ao observado nas áreas de produção tradicionais, em clima temperado. Taxas de crescimento diferenciadas, ocorrência de mais de um ciclo reprodutivo ao ano e ausência de dormência são algumas das alterações constatadas (SPÓSITO et al., 2019; ACOSTA-RANGEL et al., 2021; JASTROMBEK et al., 2022).

Dessa forma, para compreender esses novos aspectos ecofisiológicos é fundamental que se analise a resposta da planta aos elementos meteorológicos. Dentre tais, a temperatura do ar, por exercer acentuada influência sobre o crescimento e o desenvolvimento da planta, deve ser considerada. Nesse sentido, é importante que sejam determinadas as temperaturas cardeais da cultura, também denominadas temperaturas basais inferior (T_b) e superior (T_B) (MUTTONI et al., 2017; FERREIRA et al., 2019; SILVA et al., 2020).

Além desses limiares térmicos, avaliar o crescimento e desenvolvimento da planta como resposta à temperatura do ar, definindo quando possível as constantes térmicas. De acordo com Kralj (1962) e Srečec (2008), somatória térmica exigida do início da fase vegetativa à maturidade fenológica é de 2400 a 2500°C dia em zonas de clima temperado, com base em uma temperatura basal inferior (T_b) de 5°C.

Dentre os métodos disponíveis para a determinação das temperaturas cardeais, surgem como opções bastante usadas o Método do Desvio Padrão em dias e o Método do

Coeficiente de Variação em graus-dia (ARNOLD, 1960; YANG et al. 1995; LAGO et al., 2009; FREITAS et al. 2017; MARTINS et al, 2019).

A soma térmica pode ser correlacionada ao desenvolvimento vegetal através do conceito de filocrono (POLETO, et al., 2017), uma medida de desenvolvimento definido como o tempo térmico necessário para a emissão de folhas sucessivas (XUE et al., 2004; STRECK et al., 2005; MUNARETO et al., 2021).

Segundo Munareto et al (2021), o filocrono pode ser usado para avaliar a resposta fisiológica das plantas às condições ambientais ou prever como vai responder, uma vez que é diretamente relacionado a processos fisiológicos como o aumento da área foliar, interceptação da radiação solar, fotossíntese, acúmulo de fitomassa e evapotranspiração (SINCLAIR et al., 2004; STRECK et al., 2005; DELLAI et al., 2005). Para a cultura do lúpulo não localizamos estudos sobre o assunto.

Desta forma, diante da crescente expansão da área e produção de lúpulo no Brasil, o objetivo foi determinar a temperatura basal inferior (T_b) e o tempo térmico para a emissão de folhas (filocrono), caracterizando o crescimento da cultura em uma região de clima tropical.

2.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado em uma área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, denominada Fazenda Areão (22°41' 38"S, 47°38' 29" O; 550m).

O clima da região é classificado como Cwa (Köppen), descrito como tropical úmido, com período de chuvas entre os meses de outubro a março (primavera/verão) e período mais seco durante o outono e o inverno, principalmente nos meses de junho, julho e agosto (KÖPPEN, 1931; ALVARES et al., 2014; SANTOS et al., 2020). A temperatura do ar média anual é de 22,3°C, precipitação pluvial média anual de 1.347 mm e radiação solar global média de 16,4 MJ m⁻²d⁻¹ (GRUBERT,2018).

O experimento foi conduzido entre os meses de março e julho de 2021. Foram cultivadas e analisadas sete plantas de lúpulo da variedade *Cascade*, conduzidas em vasos plásticos com volume de 18L.

Os vasos foram preenchidos com cascalho na parte inferior (20% do volume, para facilitar a drenagem) e solo (80% do volume). O solo usado foi classificado como Nitossolo vermelho distrófico latossólico, formação Corumbatai, origem siltito (Tabelas 1 e 2) (EMBRAPA, 2018, LOURENÇO, 2020).

Tabela 1. Parâmetros da curva de retenção para o solo Nitossolo vermelho distrófico latossólico. Tensão dada em centímetro de coluna de água (cca). Fonte: Lourenço, 2020.

Tensão (cca)									
0	10	20	40	100	300	500	800	5000	15000
Umidade volumétrica (cm ³ cm ⁻³)									
0,508	0,473	0,353	0,311	0,225	0,217	0,186	0,132	0,129	0,107

Tabela 2. Parâmetros da equação de van Genuchten (1980) (Equação 1) ajustados para o solo utilizado: teor de água correspondente à saturação (θ_s , cm³ cm⁻³), umidade residual (θ_r , cm³ cm⁻³), α (cm⁻¹), n e m. Fonte: Lourenço, 2020.

θ_s	θ_r	α	n	m
0,498	0,100	0,079	1,476	0,297

$$\theta = \theta_r + \left\{ \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \cdot h)^n]^m} \right\} \quad (1)$$

Para o manejo das plantas usou-se um sistema de condução por treliça baixa (Figura 1) (KOŘEN, 2007; DODDS, 2017). Para o tutoramento das plantas foi usado barbante de algodão de 3mm. Para a condução das plantas foram selecionados os três ramos mais vigorosos, tutorados verticalmente até o limite de 2m de altura. Após atingir a máxima altura de condução vertical, os ramos passaram a ser conduzidos lateralmente, até o fim do período experimental.

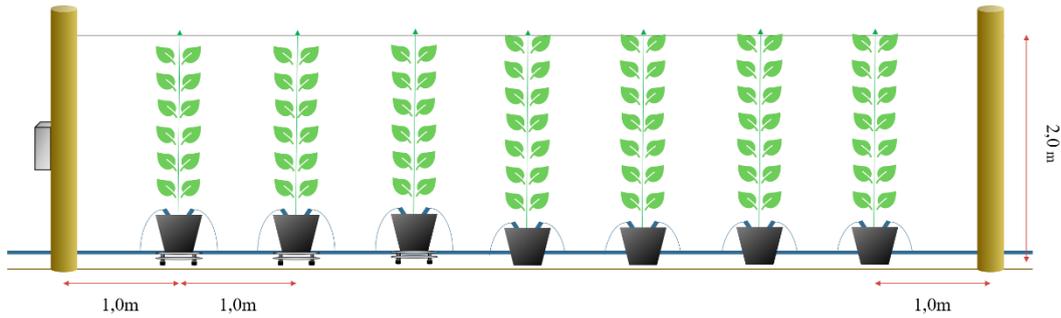


Figura 1. Representação dos vasos com as plantas de lúpulo, e do sistema de condução por treliça baixa. Detalhe dos três primeiros vasos à esquerda, dispostos sobre lisímetros de pesagem. Fazenda Areão - ESALQ/USP.

A adubação de plantio foi de 20g de NPK 4-30-10, mais 6,4% de Ca. As mudas de lúpulo, com 3 a 4 folhas, foram transplantadas aos vasos em 10/03/2021. Após um período de aclimação de 30 dias, em 10/04/2021 iniciou-se o manejo de tutoramento.

Dos sete vasos usados para o cultivo do lúpulo, três foram dispostos sobre lisímetros de pesagem (Figura 1). A irrigação dos vasos, por sistema de gotejo, foi automatizada a partir do monitoramento do peso dos vasos. O sistema de irrigação era acionado sempre que o vaso atingisse o limiar de peso pré-estabelecido (peso de irrigação).

A partir do peso do vaso em condições de capacidade de campo (após paralisação da drenagem), de 9,0 kg vaso⁻¹, foi descontado o valor da lâmina da irrigação (LI) de 166,6cm³, relativo à vazão do sistema de irrigação (2L/h) com turno de rega de 5min.

Apesar do solo usado para o preenchimento dos vasos ter sido desestruturado, a partir dos dados de umidade do solo em capacidade de campo (θ_{cc} , tensão de 100 cca) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp} , tensão de 15000 cca) (Tabela 1), e do volume de solo do vaso (V_{solo}), de 14,4litros, foi calculada a capacidade máxima de armazenamento de água (Wd_{max}) (Equação 2), a fim de quantificar a tensão crítica de água no solo relacionado ao peso de irrigação.

$$Wd_{max} = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) V_{solo} \quad (2)$$

$$Wd_{max} = (0,225 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} - 0,107 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}) 14,4 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 \text{ vaso}^{-1}$$

$$Wd_{max} = 1699,2 \text{ cm}^3 \text{ vaso}^{-1}$$

Para a obtenção da umidade crítica (θ_c), considerou-se a diferença entre a umidade em capacidade de campo (θ_{cc}) descontado da massa de água evapotranspirada (valor da lâmina da irrigação de $166,6\text{ cm}^3$) por unidade cúbica de solo (Equação 3).

$$\theta_c = [\theta_{cc} - (LI/V_{\text{solo}})] \quad (3)$$

$$\theta_c = [0,225 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} - (166,6 \text{ cm}^3/14400 \text{ cm}^3)]$$

$$\theta_c = 0,213 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

Explicitando na equação 1 a tensão de água do solo, obtem-se a tensão crítica relativa ao peso de irrigação (Equação 4):

$$h = \frac{1}{\alpha} + \left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_c - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

$$h = \frac{1}{0,079} + \left[\left(\frac{0,498 - 0,100}{0,213 - 0,100} \right)^{\frac{1}{0,297}} - 1 \right]^{\frac{1}{1,476}} \quad (5)$$

$$h = 219,6 \text{ cca.}$$

Para mensurar a emissão de folhas sucessivas, devido à irregularidade de forma do limbo e tamanho das folhas de lúpulo, foi definido como uma nova unidade a folha que apresentava o limbo foliar liso, sem rugosidade visível e com coloração verde escura. O monitoramento da emissão de folhas se estendeu de 17/05/2021 à 20/07/2021. O monitoramento considerou os ramos principais e também as ramificações laterais.

Dados de temperatura mínima (T_{min} , °C), média (T_{med} , °C) e máxima ($T_{\text{máx}}$, °C) do ar, radiação solar global (Q_g , MJ m⁻² d⁻¹) e precipitação pluvial (P , mm) foram coletados do posto meteorológico "Professor Jesus Marden dos Santos" do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, localizado a 2,07 km do local do experimento.

Para a determinação da temperatura basal inferior (T_b) foram utilizados os métodos do menor desvio-padrão em dias (SD_d) (ARNOLD, 1959), e coeficiente de variação em graus-dia (CV_{gd}) (YANG et al., 1995).

Para o método do menor desvio-padrão atribuiu-se a priori temperaturas basais inferiores, variando em escala unitária de 0 °C a 15 °C. Posteriormente determinou-se o desvio

padrão (Sdd) em graus-dias para cada temperatura, considerando como temperatura basal inferior a de menor desvio-padrão em dias (SD_d), conforme a Equação 6:

$$SD_d = \frac{SD_{gd}}{\overline{T_{ar}} - T_{bi}} \quad (6)$$

Onde SD = desvio padrão em dias, SD = desvio padrão em graus-dia (°C.dia) usando uma série de temperaturas basais (T_{bi}, °C) e T_{bi} = temperatura média do ar (°C) referente a uma temperatura basal i dentro da faixa de temperaturas pré-estabelecidas.

O método do coeficiente de variação em graus-dia (CV_{gd}) considera como valor de temperatura basal (T_b) aquele que apresenta o menor coeficiente de variação resultante da divisão do desvio padrão em graus dia do período (SD_{gd}) pela média dos graus-dia acumulados (GD_a), considerando uma temperatura basal T_{bi} dentro de uma faixa de valores de temperatura basal pré-determinados. O CV_{gd} é obtido pela Equação 7:

$$CV_{gd} = \frac{SD_{gd}}{GD_a} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde CV_{gd} é o coeficiente de variação em graus-dia; SD_{gd} é o desvio padrão em graus-dia usando um valor de temperatura basal T_{bi} de uma série de temperaturas T_b, GD_a = média de graus-dia acumulados GD_a= média de graus-dia acumulados.

Para o método do coeficiente de variação em graus-dia (CV_{gd}) as temperaturas basais inferiores, atribuídas para análises, também variaram de 0°C a 15°C com intervalos de 1°C.

Estabelecidas as temperaturas basais para cada método, determinou-se o tempo térmico acumulado em graus dia (GD_{ac}, °C dia) do período de emissão de folhas, a partir da equação proposta por Arnold (1960) (Equação 8):

$$GD_{ac} = \sum_{i=1}^n (\overline{T_{ar}_i} - T_b) \quad (8)$$

Onde $\overline{T_{ar}_i}$ é a Temperatura média do ar do dia (°C) no período i, T_b é a temperatura basal inferior (°C) e n_i é o número referente ao período i.

O filocrono para cada planta, assim como o total, foi estimado utilizando o método do inverso do coeficiente angular da regressão linear, proposto por Klepper et. al, (1982). O Filocrono (Fc) é obtido através do inverso do coeficiente angular (α) (Equação 9),

proveniente da regressão linear entre o número de folhas (N_f) e o tempo térmico acumulado em graus dia (GD_{ac} , °C dia) (Equação 10) (Xue et al., 2004).

$$N_f = \alpha \cdot GD_{ac} + \beta \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{N_f}{GD_{ac} + \beta} \quad (10)$$

$$Fc = \frac{1}{\alpha} \quad (11)$$

2.3. Resultados e Discussão

Durante o período de avaliação da emissão de folhas pelas plantas de lúpulo, a temperatura média do ar oscilou entre 10,8°C e 24,2°C. A temperatura média de todo o período ficou em 17,4°C. A temperatura máxima chegou aos 31,9°C, no dia 28/05/2021, enquanto a temperatura mínima atingiu 1,0°C em 20/07/2021 (Figura 2).

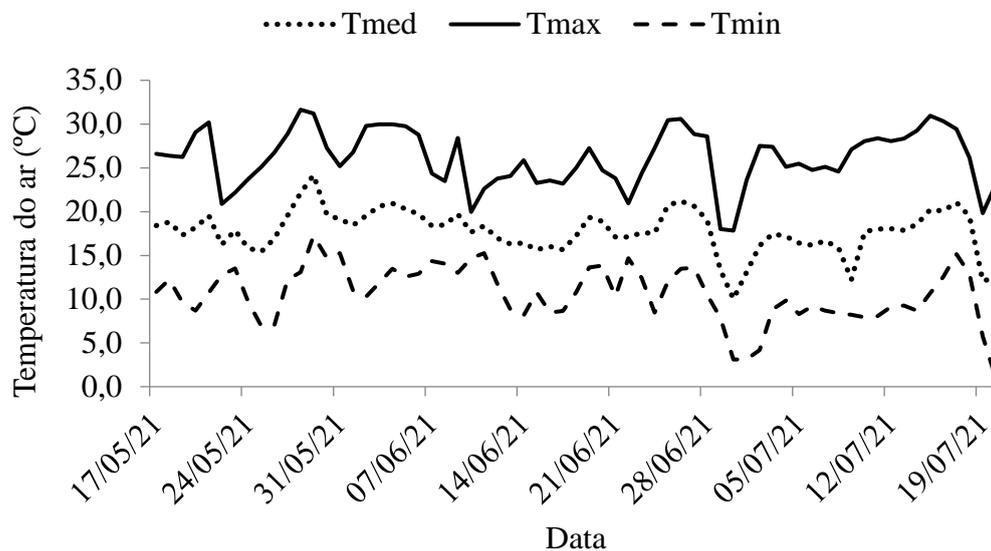


Figura 2. Temperatura máxima, média e mínima do ar registradas durante o período de análise de emissão foliar do lúpulo. Fazenda Areão - ESALQ/USP. 17/05/2021 - 20/07/2021.

Conforme os registros (Figura 2) a temperatura média se manteve, na maior parte do período, pouco abaixo do limiar inferior de 20°C, considerado ideal ao desenvolvimento

vegetativo da cultura (AMORIELLO et al 2019; SPÓSITO, 2019). A temperatura máxima em poucos momentos superou o limiar de 30°C, jamais superando os 35°C.

Já em relação à temperatura mínima, o critério para que a planta entrasse em estágio de dormência não foi atingido, já que são necessários de 1 a 2 meses com temperaturas abaixo de 5°C (DODDS et al., 2017).

Nesse período, a precipitação pluvial foi de 47,0mm acumulados. Desse montante, 36% foram registrados no mês de maio de 2021, 49% no mês de junho de 2021 e 15% no mês de julho de 2021 (Figura 3). Por conta do reduzido volume precipitado, a suplementação hídrica via irrigação foi frequente, somando 281,1mm.

A radiação solar global (Qg) acumulada no período foi de 852,61 MJ m⁻²d⁻¹ com uma média diária de 13,12 MJ m⁻²d⁻¹. Valores mínimo e máximo foram respectivamente de 3,27 MJ m⁻²d⁻¹ e 16,68 MJ m⁻²d⁻¹.

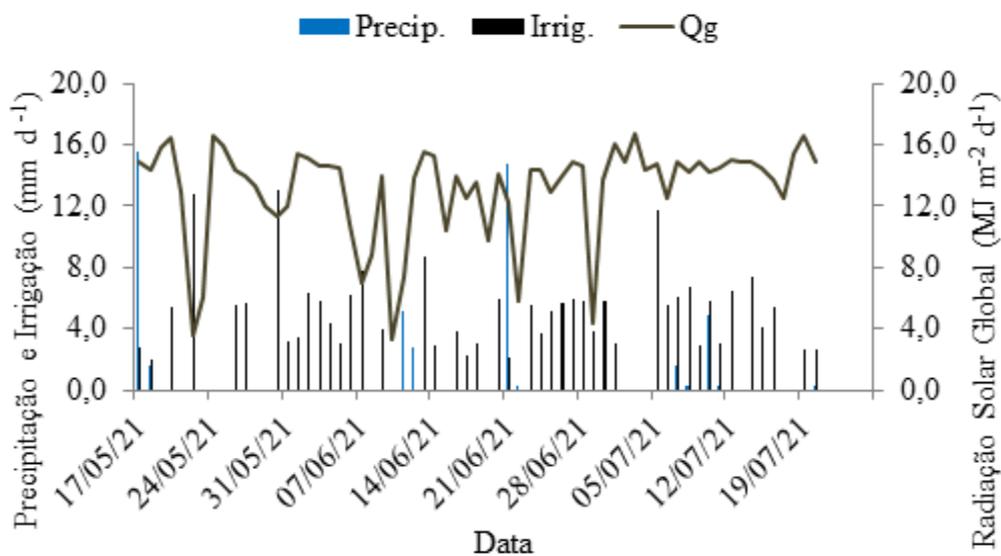


Figura 3. Precipitação, Irrigação e Radiação solar global observadas durante o período de análise de emissão. Fazenda Areão - ESALQ/USP 17/05/2021 - 20/07/2021.

A temperatura basal foi estimada a partir dos métodos do Desvio Padrão em Dias (SD_d) e do Coeficiente de Variação em Graus Dia (CV_{gd}), encontrando-se os valores de 6°C (SD_d = 1,158) (Figura 4A) e 5°C (CV_{gd} = 18,936) (Figura 4B) como temperaturas basais para análises realizadas, em escala unitária, dentro do intervalo de 0 a 15°C.

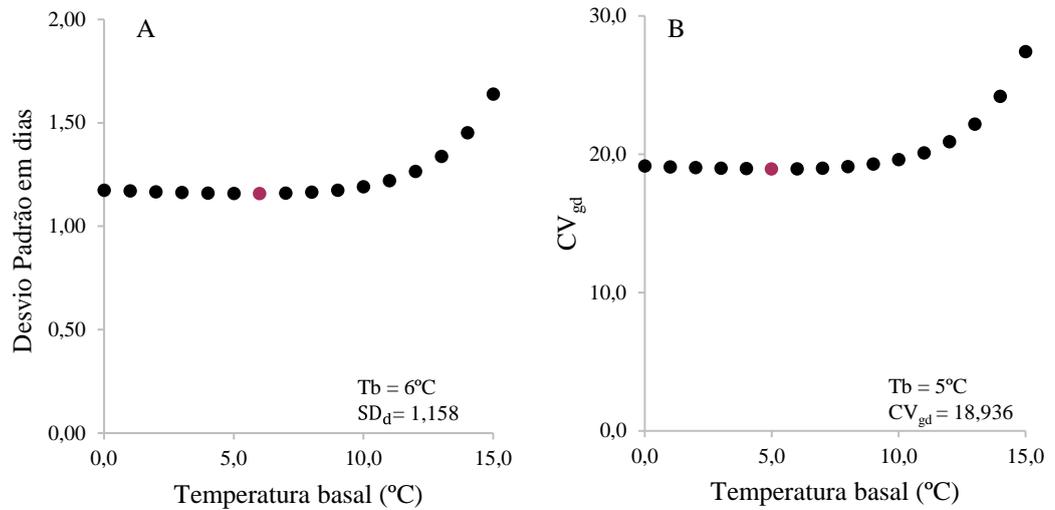


Figura 4. Determinação da temperatura basal inferior (T_b , °C) pelos métodos do Desvio padrão em dias (A) e Coeficiente de variação em graus dias (B), utilizando valores de temperatura entre 0°C e 15°C, para as 7 plantas de lúpulo analisadas de forma total. O ponto em vermelho no gráfico indica o valor de temperatura basal. Fazenda Areão – ESALQ/ USP, Piracicaba-SP, 17/05/2021 – 20/07/2021.

Em uma segunda análise, testando valores de temperatura em escala decimal por ambos os métodos (Figura 5), pelo método CV_{gd} a temperatura basal determinada foi de 5,2°C (Figura 5A), enquanto que para o método do SD_d foi estimado em 5,8°C (Figura 5B).

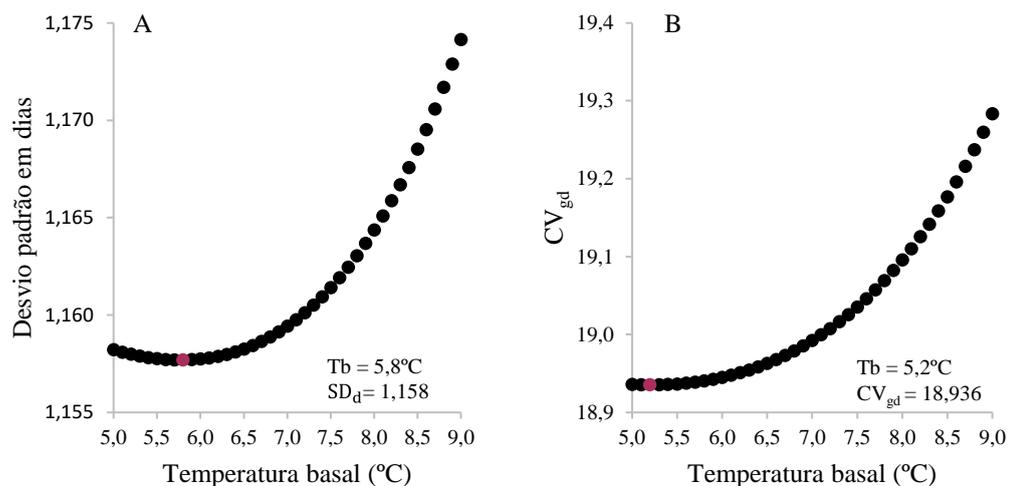


Figura 5. Determinação da temperatura basal inferior (T_b , °C), pelos métodos do Desvio padrão em dias (A) e Coeficiente de variação em graus dias (B), utilizando valores de temperatura entre 5°C e 9°C com variação de 0,1°C, para as 7 plantas de lúpulo analisadas de forma total. O ponto em vermelho no gráfico indica o valor de temperatura basal. Fazenda Areão – ESALQ/ USP, Piracicaba-SP, 17/05/2021 – 20/07/2021.

Embora tenham sido encontradas diferenças entre os valores de temperatura basal inferior (T_b) estimados pelos métodos do SD_d e CV_{gd} (Figuras 4 e 5), os valores de T_b determinados por ambos os métodos ficaram próximos daqueles descritos na literatura para as principais regiões de cultivo de lúpulo.

Na Europa, diversos autores adotam a temperatura basal de 5°C para o lúpulo (ZMRZLAK, 1991; ZMRZLAK; KAJFEŽ-BOGATAJ, 1996; SREČEC; 2008; ROSSINI et al 2016; MACKEGÅRD, 2021), enquanto que para o lúpulo cultivado nos Estados Unidos, Spósito et al., (2019) indicam a utilização de uma T_b de 6°C . As temperaturas basais estimadas por ambos os métodos também se encontram dentro da faixa de $4,4$ a 6°C usada por Dodds (2017), como faixa de valores de temperatura em que o lúpulo entra em estado de dormência.

A diferença entre os resultados de T_b (Figuras 4 e 5), de $0,6^\circ\text{C}$, se assemelha ao observado entre os métodos do SD_d e CV_{gd} para a estimação da T_b para café arábica (LIMA; SILVA, 2008). Entretanto para os autores o maior valor de T_b encontrado foi referente ao método do Coeficiente de variação ($CV_{gd} = 15,4^\circ\text{C}$; $SD_d = 14,8^\circ\text{C}$). Segundo Shmidt et al., (2018), a baixa variabilidade da T_b determinada por diferentes métodos demonstra que os mesmos são viáveis para a determinação da T_b das culturas.

A partir dos resultados da emissão de folhas do lúpulo, registrados entre 17/05/2021 e 21/07/2021, foi possível avaliar a relação entre o tempo cronológico para emissão de uma folha e a temperatura média do ar. Nesse período foram contabilizadas a emissão de 244 folhas pelas plantas de lúpulo avaliadas (Figura 6).

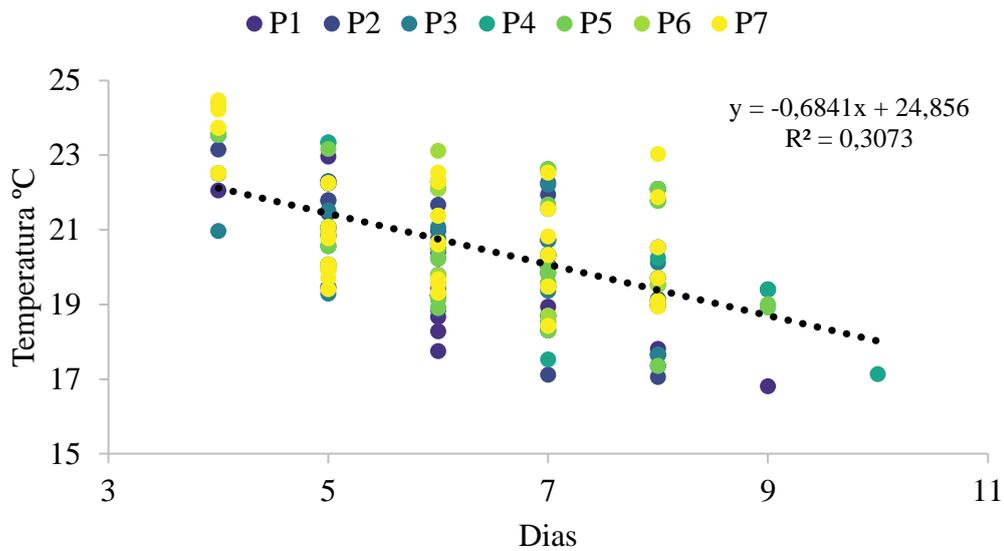


Figura 6. Relação entre o tempo em dias para a emissão de uma folha (Dias) e a temperatura média do período (Temperatura, °C) analisadas de forma total. Fazenda Areão – ESALQ/ USP, Piracicaba-SP, 17/05/2021 – 20/07/2021.

A inclinação negativa da reta de regressão indica uma relação inversa entre o tempo de emissão de uma folha e a temperatura do ar, de modo que quanto maior a temperatura do ar, menor foi o tempo para a emissão de folhas (Figura 6).

Considerando a distribuição dos dados, observa-se que o tempo em dias para a emissão de uma folha variou de 4 a 10 dias, com uma variação de temperatura média de 16,8 a 24,5°C. A distribuição dos dados em relação ao período de emissão de folhas foi maior para o período de 5 a 8 dias, representando 85,7% dos dados observados, tendo como temperatura média do período dos dias de 20,3°C. Destaque também para o período de emissão de 6 dias, o qual representou 24,6% dos dados com uma temperatura média de 20,4°C e o período de 5 dias com 20% dos dados com uma temperatura média do período de 21,1°C.

Embora haja uma relação entre o tempo cronológico da emissão de folhas e a temperatura do ar, é desejável analisar o tempo de emissão de folhas de uma cultura em função da temperatura, expresso pelo filocrono (XUE et al., 2004; STRECK et al., 2005).

A Figura 7 apresenta a relação entre o número de folhas acumuladas e os graus-dia acumulados para a emissão de folhas consecutivas, considerando a emissão de folhas das sete plantas de lúpulo, adotando como temperaturas basais os valores obtidos pelos dois métodos 5,2°C (CV_{gd}) e 5,8°C (SD_d).

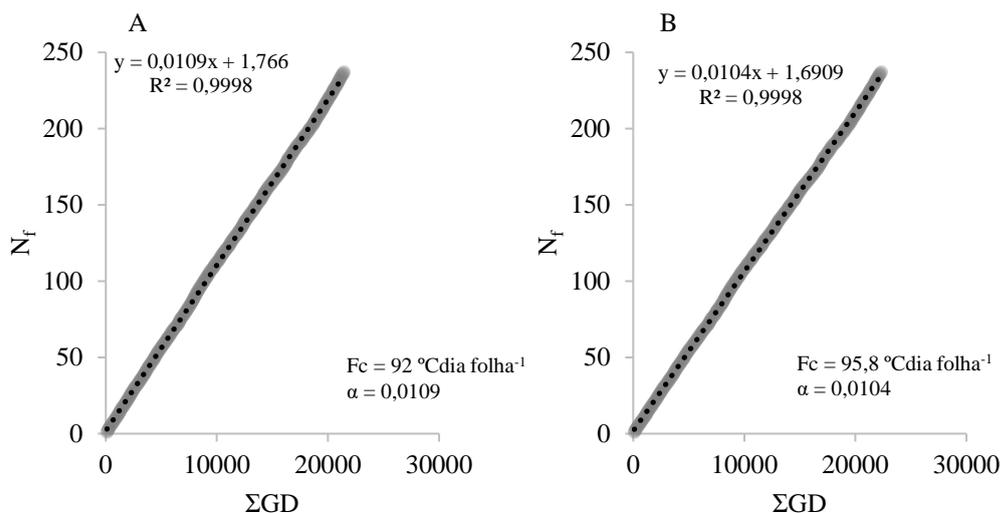


Figura 7. Relação entre o número de folhas acumuladas na haste principal e os graus-dia acumulados para a emissão de folhas consecutivas na haste (GD, °C dia) para todas as plantas de lúpulo utilizando a temperatura basal determinada pelo método do Desvio padrão em dias(A) e o método do Coeficiente de variação em graus dia(B). Fazenda Areão – ESALQ/ USP, Piracicaba-SP, 17/05/2021 – 20/07/2021.

A relação entre o número de folhas emitidas e a soma térmica acumulada foi linear ($R^2 > 0,99$) para ambos os métodos. O alto valor do coeficiente de determinação (R^2) indica que há relação linear entre as variáveis analisadas e que a temperatura do ar é o principal elemento meteorológico a influenciar na emissão de folhas (DELLAI et al., 2005; MARTINS; SILVA; STRECK, 2007; LISBOA et al., 2012; MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012; MUNARETO, 2021).

Segundo Cocco et al. (2016), a presença de uma alta correlação linear entre o número de folhas e a soma térmica acumulada comprova que o método de regressão linear é eficiente para estimativa do filocrono. Esse comportamento também foi observado para diversas culturas como eucalipto (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007); tomate (PIVETTA et al., 2007); oliveira (LISBOA et al., 2012; MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012); erva-mate (POLETO et al., 2017); escarola (SHIMIDT et al., 2018) e quinoa (MURANETO et al. 2021).

Os valores de filocrono obtidos através das temperaturas basais do método do SD_d e CV_{gd} foram $92^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ e $95,8^\circ\text{C dia folha}^{-1}$, ambos maiores do que os valores encontrados para culturas como a batata ($19,2$ a $22,9^\circ\text{C dia folha}^{-1}$) (DELLAI et al., 2005); eucalipto (*Eucalyptus grandis* $32,0^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ e *Eucalyptus saligna*, $30,7^\circ\text{C dia folha}^{-1}$) (MARTINS; SILVA; STRECK, 2007); oliveira (cv. Alberquina, $21,7^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ e cv.MGS ASC31, $41,6^\circ\text{C dia folha}^{-1}$) (MARTINS; REIS; PINHEIRO, 2012); escarola ($16,6$ a $27,8$

$^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$) (SHMIDT et al., 2018) e quinoa ($28^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$) (MUNARETO et al., 2021), porém menores do que os valores encontrados para a cultura da erva-mate (393,27 a $401,01^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$) (POLETO et al., 2017).

De acordo com Shmidt et al. (2018), o método do filocrono pode ser utilizado como modelo de desenvolvimento para estimar o desempenho de uma cultura, e o uso da temperatura do ar pode ser suficiente considerando a existência de mais fatores climáticos que também podem influenciar no crescimento vegetal, como a radiação solar e o fotoperíodo (BERTERO, 2001; MUNARETO, 2021). Dessa forma, o filocrono pode ser utilizado como importante ferramenta para obter informações sobre o comportamento e adaptação da cultura do lúpulo, frente a novos ambientes de cultivo, permitindo conhecer as necessidades da cultura em condições meteorológicas distintas do seu centro de origem, contribuindo, assim, para o desenvolvimento de novas práticas de manejo e planejamento da implantação da cultura.

2.4. Conclusão

A condição térmica, entre os meses de março e junho de 2021 manteve a cultura do lúpulo em crescimento, sem dormência no período de inverno. Com uma temperatura basal inferior (T_b) de $5,2^{\circ}\text{C}$ - $5,8^{\circ}\text{C}$, a cada 4 - 10 dias ($92^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ - $95,8^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$) houve a emissão de nova folha pela planta, em preparo para um novo ciclo reprodutivo.

Referências

- ACOSTA-RANGEL, Aleyda et al. Hop (*Humulus lupulus* L.) phenology, growth, and yield under subtropical climatic conditions: effects of cultivars and crop management. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 5, p. 764-772, 2021.
- AGEHARA, Shinsuke. Using supplemental lighting to control flowering of hops in Florida: HS1365, 4/2020. **EDIS**, v. 2020, n. 2, 2020.
- AGEHARA, Shinsuke et al. Crop management practices and labor inputs for hop production in Florida: HS1409, 3/2021. **EDIS**, v. 2021, n. 2, 2021.

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift** v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- AMORIELLO, T. Multi-criteria approach for land suitability assessment of hop cultivation in Italy. **Int. J. Agric. Environ. Res.** 2019, 5, 277–286.
- ARNOLD, C.Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v.74, p.430-445, 1959.
- BAUERLE, William L. Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2019.
- BIENDL, Martin et al. **Hops: their cultivation, composition and usage**. Fachverlag Hans Carl, 2015.
- Brewers Association **National beer sales and production data**, 2020. Disponível em: <https://www.brewersassociation.org/statistics-anddata/national-beer-stats/>. Acesso em: 1 de jun. de 2022.
- BERTERO, H. Daniel. Effects of photoperiod, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions. **Annals of Botany**, v. 87, n. 4, p. 495-502, 2001.
- COCCO, Kassia Luiza Teixeira et al. Estimated phyllochron in low tunnel cultivated strawberry cultivars. **Ciência Rural**, v. 46, p. 1546-1552, 2016.
- DE-SOUZA, R. et al. Growth regulators and their reflection on different hop genotypes cultivated under in vitro conditions. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2021.
- DELLAI, Jacso et al. Phyllochron at different plant densities in potato. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1269-1274, 2005.
- DODDS, K. **Hops: a guide for new growers**. New South Wales: Department of Primary industries, 2017.

- DURELLO, Renato S.; SILVA, Lucas M.; BOGUSZ, Stanislaw. Química do lúpulo. **Química Nova**, v. 42, p. 900-919, 2019.
- EMBRAPA - Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília: EMBRAPA Solos, 356p, 2018.
- Fagherazzi, M. M. **Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do planalto sul Catarinense**. Ph.D. Tese, Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, Brasil, 2020.
- FERREIRA, Mábele de Cássia et al. Cardinal temperatures and thermal requirements for the initial development of two Brazilian native species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.
- FREITAS, Cleverton Henrique de; MARTINS, Fabrina Bolzan; ABREU, Marcel Carvalho. Cardinal temperatures for the leaf development of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 283-292, 2017.
- GRUBERT, Daniel Alves da Veiga. **Consortiação de cana-de-açúcar e canola: desempenho agrônomo e bases para simulação**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. doi:10.11606/D.11.2018.tde-10102018-115946. Acesso em: 10 de jun. de 2022.
- GUIMARÃES, Bernardo Pontes; EVARISTO, Rafael Benjamin Werneburg; GHESTI, Grace Ferreira. Prospecção tecnológica do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) e suas aplicações com ênfase no mercado cervejeiro brasileiro. **Cadernos de Prospecção**, v. 14, n. 3, p. 858-858, 2021.
- Hop Growers of America **Overview of the hop industry**. 2019. Disponível em: <https://www.usahops.org/enthusiasts/>. Acesso em: 21 de mai. de 2022.
- JASTROMBEK, Jessiane Mary et al. Hop: An emerging crop in subtropical areas in Brazil. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 393, 2022.
- KLEPPER, B. et al. Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains. **Agronomy Journal**, v.74, n.4, p.789-792, 1982.
- KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlin, Walter de Gruyter. 390p, 1931.

- KOŘEN J, Influence of plantation row spacing on quality and yield of hops. **Plant, Soil and Environment**, 53, 276–282, 2007.
- KORPELAINEN, Helena; PIETILÄINEN, Maria. Hop (*Humulus lupulus* L.): traditional and present use, and future potential. **Economic Botany**, p. 1-21, 2021.
- KRALJ, D. Influence of temperature and rainfall on the growth of Savinja Golding. In: **Proceedings of I Yugoslavian symposium of hop production, Velenje, Slovenia, April**. 1962. p. 25-26.
- KROFTA, K.; KUČERA, J. **Mathematical model for prediction of yield and alpha acid of the Scientific Commission**, p. 112, 2009.
- LAGO, Isabel et al. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, v. 56, n. 3, p. 288-295, 2009.
- LIMA, Edson P.; SILVA, Elio L. da. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 266-273, 2008.
- LISBOA, Priscila Maria Martins et al. Desenvolvimento vegetativo de duas cultivares de oliveira na fase de muda. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1556-1562, 2012.
- LOURENÇO, Leandro Fellet. **O efeito da deficiência hídrica em plantas de soja**. 2020. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Acesso em: 23 de mai. de 2022.
- MACKEGÅRD, Ida Elisabeth. **A hopeful study of hop**. 2021.
- MARCEDDU, Roberto; CARRUBBA, Alessandra; SARNO, Mauro. Cultivation trials of hop (*Humulus lupulus* L.) in semi-arid environments. **Heliyon**, v. 6, n. 10, p. e05114, 2020.
- MARTINS, Fabrina Bolzan et al. Temperatura do ar no desenvolvimento reprodutivo de cultivares de oliveira. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 179-190, 2019.

- MARTINS, Fabrina Bolzan; REIS, Diogo da Fonseca; PINHEIRO, Marcos Vinícius Marques. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1975-1981, 2012.
- MARTINS, Fabrina Bolzan; SILVA, Joel Cordeiro da; STRECK, Nereu Augusto. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista árvore**, v. 31, p. 373-381, 2007.
- MUNARETO, Janete Denardi et al. Estimativa de temperatura base e filocrono em quinoa. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 24, n. 1, p. 143-152, 2021.
- MUTTONI, Martina et al. Cardinal temperatures for planting-emergence phase in gladiolus. **Ciência Rural**, v. 47, 2017.
- PIVETTA, Carina Rejane et al. Emissão e expansão foliar em três genótipos de tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Ciência Rural**, v. 37, p. 1274-1280, 2007.
- POLETO, Gian Carlos et al. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono da erva-mate na fase de muda¹. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal-ENFLO**, v. 5, n. 1, p. 23-32, 2017.
- ROSSINI, Francesco et al. Agronomic performance and beer quality assessment of twenty hop cultivars grown in Central Italy. **Italian Journal of Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 180-187, 2016.
- ROSSINI, Francesco et al. 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, 2021.
- SANTOS, Thais Leticia dos. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação em Piracicaba (SP) e influência sobre a produtividade estimada da Soja**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Acesso em: 10 de jun. de 2022.

- SCHMIDT, D.; CARON, B.O.; VALERA, O.; MEIRA, D.; FONTANA, D.C.; ZANATTA, T.P.; WERNER, C.J.; BREZOLIN, P. Base temperature, thermal time and phyllochron of escarole cultivation. **Horticultura Brasileira**, v.36, p.466-472, 2018.
- SILVA, Larissa Vieira Da et al. Desenvolvimento vegetativo de *Cesalpineia ferrea* e *Anadenanthera macrocarpa*: I-Estimativa das temperaturas cardinais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 23-33, 2020.
- SINCLAIR, T. R. et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 88, n. 2-3, p. 171-178, 2004.
- SPÓSITO, Marcel Bellato et al. A cultura do lúpulo. **Piracicaba, SP: Esalq-Divisão de Biblioteca**, 2019.
- SREČEC, Siniša et al. Influence of climatic conditions on accumulation of α -acids in hop clones. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 73, n. 3, p. 161-166, 2008.
- STRECK, N. A. et al. Estimativa do filocrono em cultivares de trigo de primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 3, p. 423-429, 2005.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44:892-898, 1980.
- XUE, Q.; WEISS, A.; BAENZIGER, P.S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, v.175, p.261-270, 2004.
- YANG, Senshan; LOGAN, Joanne; COFFEY, David L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, n. 1-2, p. 61-74, 1995.
- ZMRZLAK M.; KAJFEŽ-BOGATAJ L. (1996). Phenological modeling of growth stages of the hop (*Humulus lupulus* L.). **Biometeorology**, Proc. of the 14th Int. Con. Of Biometeorology, Ljubljana, Slovenia, September 1-8, 1996: 88.
- ZMRZLAK, M. **Dynamics of phenological development of hops (cv. Savinjski Golding, Aurora) related to air temperature in lower Savinja valley**. Graduation Th esis. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Agronomija: 11-59., 1991.

3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO LÚPULO EM CLIMA TROPICAL

Resumo

No Brasil, com o aumento do número de microcervejarias, a busca por produtos cervejeiros diferenciados incentivou a produção de lúpulo em áreas não tradicionais usando-se variedades adaptadas às condições de clima subtropical. Frente a essas novas condições meteorológicas, o crescimento e o desenvolvimento das variedades de lúpulo apresentam distinções em relação ao observado nas áreas de produção tradicionais, em clima temperado. Uma questão local importante para o cultivo de lúpulo é a necessidade de irrigação, seja pela alta demanda atmosférica ou estações secas que caracterizam os climas tropicais. Dessa forma, para compreender esses novos aspectos ecofisiológicos, o objetivo deste trabalho foi determinar o consumo hídrico das plantas em uma região de clima tropical. O trabalho foi realizado durante os meses de agosto de 2021 e janeiro de 2022, em uma área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (22°41' 38"S, 47°38' 29" O; 550m). Para o experimento foram utilizadas sete plantas de lúpulo (var. *Cascade*), conduzidas em vasos sob sistema de treliça baixa. Das sete plantas, três foram conduzidas sobre lisímetros de pesagem que mensuravam a evapotranspiração da cultura e controlavam um sistema de irrigação por gotejo, de modo que todas as plantas fossem supridas hidricamente durante todo ciclo. Para a avaliação do consumo hídrico da planta frente ao seu crescimento, a área foliar das plantas foi mensurada semanalmente, entre 30/08/2021 e 10/12/2021, utilizando-se o método de medição das dimensões foliares. A demanda hídrica do lúpulo apresentou correlação com a disponibilidade de energia e demanda atmosférica, e com o crescimento da cultura do lúpulo expresso pela sua área foliar. O consumo hídrico acompanhou o aumento da área foliar e, demonstrou a necessidade média de 1L por metro quadrado de folhagem.

Palavras-chave: *Humulus lupulus* L.; Consumo de água; Área foliar

Abstract

In Brazil, with the increase in the number of microbreweries, the search for differentiated brewing products encouraged hop production in non-traditional areas using varieties adapted to subtropical climate conditions. Faced with these new meteorological conditions, the growth and development of hop varieties present distinctions in relation to what is observed in traditional production areas, in temperate climates. An important local issue for hop cultivation is the need for irrigation, either due to the high atmospheric demand or dry seasons that characterize tropical climates. Thus, to understand these new ecophysiological aspects, the objective of this work was to determine the water consumption of plants in a region with a tropical climate. The work was carried out during the months of August 2021 and January 2022, in an experimental area of Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (22°41' 38"S, 47°38' 29" W; 550m). For the experiment, seven hop plants (var. *Cascade*) were grown in pots under a low trellis system. Of the seven plants, three were conducted under weighing lysimeters that measured crop evapotranspiration and controlled a drip irrigation system, so that all plants were supplied with water throughout the cycle. To evaluate the water consumption of the plant in relation to its growth, the leaf area of the plants was measured weekly, between 08/30/2021 and 12/10/2021, using the method of measuring leaf dimensions. The water demand of hops was correlated with the availability of energy and atmospheric demand, and with the growth of the hop crop expressed by its leaf area. Water consumption followed the increase in leaf area and showed an average need of 1L per square meter of foliage.

Keywords: *Humulus lupulus* L.; Water consumption; Leaf blade area

3.1. Introdução

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma das três espécies de *Humulus* pertencentes a família Cannabaceae e seu cultivo é difundido em praticamente todas as regiões de clima temperado todo o mundo (ACOSTA-RANGEL et al., 2021; KOPERLAIN; PIETILÄEINEN, 2021; MACKEGÅRD, 2021). Caracterizada por ser uma planta herbácea, perene e dióica, suas inflorescências femininas possuem óleos e resinas que possuem alto apreço pelos mercados farmacêuticos e alimentícios, sobretudo para o mercado cervejeiro, o qual é responsável por 97% da demanda mundial do lúpulo (DODDS, 2017; DURELLO et al., 2019; SPÓSITO et al., 2019; GUIMARÃES, 2020).

Comercialmente, o lúpulo é produzido predominantemente em áreas temperadas em latitudes entre 35° e 55° norte e sul do equador em uma área de 61.570 hectares distribuídos por 22 países (IHGC, 2019; ACOSTA-RANGEL et al., 2021), tendo como principais produtores os Estados Unidos com 47.540 toneladas e Alemanha com 46.878 toneladas (IHGC, 2021). Nessas regiões, a cultura se desenvolve sob condições edafoclimáticas específicas com solos argilosos ou arenosos profundos e de fácil drenagem, com abundante fonte de água, temperaturas entre 20°C a 30°C e um fotoperíodo de 15 a 18 horas de sol por dia (DURELLO et al., 2019; KREBS et al., 2019; SPÓSITO et al., 2019).

Entre os meses de março a junho a cultura se desenvolve vegetativamente sob temperatura de 20°C a 30°C (AMORIELLO et al 2019; SPÓSITO, 2019). Temperatura acima dos 35°C - 40°C provocam a paralisação do crescimento e queda dos cones, especialmente quando há predomínio de tempo seco (BIENDL et al., 2015). O florescimento, entre junho e agosto, coincide com temperaturas mais amenas (16°C a 17°C), favoráveis ao acúmulo α -ácidos e β -ácidos (SREČEC et al., 2008; KROFTA; KUČERA, 2009; MACKEGÅRD, 2021). Já entre os meses de agosto e setembro, a cultura inicia um período de dormência, induzido por temperaturas inferiores a 4,4°C - 6°C durante 1 a 2 meses, permanecendo nesse estado até março, quando haverá um novo ciclo (DODDS, 2017; AMORIELLO et al., 2019).

Em relação à necessidade hídrica, o lúpulo exige boa disponibilidade de água durante todas as suas fases de desenvolvimento. Na maioria das regiões produtoras de lúpulo do mundo, a cultura precisa ser irrigada, principalmente em latitudes mais baixas de precipitação reduzida no verão (AFONSO; ARROBAS; RODRIGUES, 2020). Os períodos críticos em são a floração e crescimento de cones (RYBAČEK, 1991), devido a aumentos da taxa

fotossintética devido à formação de flores e o acúmulo de compostos (FRIC et al., 1991; NEVE, 1991; De KEUKELEIRE et al., 2007; SPÓSITO et al., 2019).

A ocorrência de deficiência hídrica pode diminuir significativamente a produção de cones de lúpulo, e também sua qualidade devido ao menor acúmulo de α -ácidos (EVANS, 2003; De KEUKELEIRE et al., 2007; SREČEC et al., 2008; FANDIÑO et al., 2015). Segundo Kišgeci, (1974), estima-se que para a produção de 1,0 kg de matéria seca de cones são necessários de 300 a 500 mm de água.

Na região do Yakima Valey, no estado de Washington (EUA), o consumo das cultivares de lúpulo fica entre os 610 a 712 mm ciclo⁻¹. Na Espanha, região de Galícia, a demanda observada foi de 396 a 557 mm ciclo⁻¹ e, em Portugal, o consumo médio foi de 500 mm de água por ciclo (EVANS, 2003; MARCOS et al., 2011; FANDIÑO et al., 2015; RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015).

As diferenças em consumo de água entre regiões de produção se devem, sobretudo, às diferenças em demanda atmosférica, claramente observada por Turner et al. (2011), ao quantificar o consumo hídrico do lúpulo em regiões clima árido, com valores chegando aos 700 a 800 mm ciclo⁻¹.

Apesar de sua alta exigência por água, o lúpulo não tolera solos encharcados. O excesso de água no solo pode levar à podridão radicular e aparecimento de doenças como míldio e podridão radicular (ZEPP et al., 1995; EVANS, 2003;). Portanto, para suprir sua demanda hídrica e evitar encharcamento do solo, recomenda-se a utilização de irrigação por gotejo.

Como benefícios extras esse tipo de irrigação ainda proporciona maior produtividade de água, melhora nos processos fisiológicos e bioquímicos, incremento da produção de matéria seca, cones e no teor de α - e β - ácidos (WAMPLE; FARRAR, 1983; NEVE, 1991; MARCOS et al., 2011; NAKAWUKA, 2013; NAGLIČ; CVEJIĆ; PINTAR, 2016; NAKAWUKA et al., 2017; ALVES, 2018; GUIMARÃES, 2020).

No Brasil, com o aumento do número de microcervejarias, a busca por produtos cervejeiros diferenciados incentivou a produção de lúpulo em áreas não tradicionais (ROSSINI et al., 2021; JASTROMBEK et al., 2022). Assim, vem progredindo o cultivo do

lúpulo usando variedades adaptadas às condições de clima subtropical (BREWERS ASSOCIATION, 2020; ACOSTA-RANGEL et al., 2021; AGEHARA et al, 2021).

Frente a condições meteorológicas diferenciadas, o crescimento e desenvolvimento dessas variedades de lúpulo apresentam distinções em relação ao observado nas áreas de produção tradicionais, em clima temperado. Uma questão local importante para o cultivo de lúpulo é a necessidade de irrigação, seja pela alta demanda atmosférica ou estações secas que caracterizam os climas tropicais.

Dessa forma, para compreender esses novos aspectos ecofisiológicos, o objetivo foi determinar o consumo hídrico das plantas em uma região de clima tropical.

3.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado em uma área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, denominada Fazenda Areão (22°41' 38"S, 47°38' 29" O; 550m).

O clima da região é classificado como Cwa (Köppen), descrito como tropical úmido, com período de chuvas entre os meses de outubro a março (primavera/verão) e período mais seco durante o outono inverno, principalmente nos meses de junho, julho e agosto (KÖPPEN, 1931; ALVARES et al., 2014; SANTOS et al., 2020). A temperatura do ar média anual é de 22,3°C, precipitação pluvial média anual de 1.347 mm e radiação solar global média de 16,4 MJ m⁻²d⁻¹ (GRUBERT,2018).

O experimento foi conduzido entre os meses de agosto de 2021 e janeiro de 2022. Foram cultivadas e analisadas sete plantas de lúpulo da variedade *Cascade*, conduzidas em vasos plásticos com volume de 18L.

Os vasos foram preenchidos com cascalho na parte inferior (20% do volume, para facilitar a drenagem) e solo (80% do volume). O solo usado foi classificado como Nitossolo vermelho distrófico latossólico, formação Corumbatai, origem siltito (Tabelas 1 e 2) (EMBRAPA, 2018, LOURENÇO, 2020).

Tabela 1. Tabela 1. Parâmetros da curva de retenção para o solo Nitossolo vermelho distrófico latossólico. Tensão dada em centímetro de coluna de água (cca). Fonte: Lourenço, 2020.

Tensão (cca)									
0	10	20	40	100	300	500	800	5000	15000
Umidade volumétrica (cm ³ cm ⁻³)									
0,508	0,473	0,353	0,311	0,225	0,217	0,186	0,132	0,129	0,107

Tabela 2. Parâmetros da equação de van Genuchten (1980) (Equação 1) ajustados para o solo utilizado: teor de água correspondente à saturação (θ_s , cm³ cm⁻³), umidade residual (θ_r , cm³ cm⁻³), α (cm⁻¹), n e m. Fonte: Lourenço, 2020.

θ_s	θ_r	α	n	m
0,498	0,100	0,079	1,476	0,297

$$\theta = \theta_r + \left\{ \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \cdot h)^n]^m} \right\} \quad (1)$$

Para o manejo das plantas usou-se um sistema de condução por treliça baixa (Figura 1) (KOŘEN, 2007; DODDS, 2017). Para o tutoramento das plantas foi usado barbante de algodão de 3mm. Para a condução das plantas foram selecionados os três ramos mais vigorosos, tutorados verticalmente até o limite de 2m de altura. Após atingir a máxima altura de condução vertical, os ramos passaram a ser conduzidos lateralmente, até o fim do período experimental.

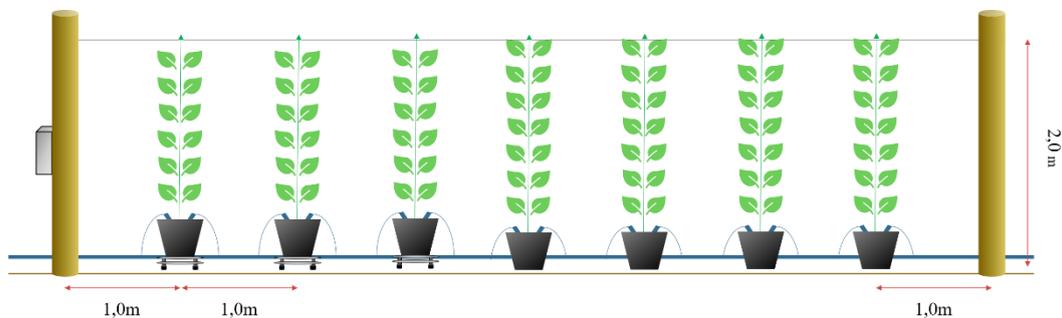


Figura 1. Representação dos vasos com as plantas de lúpulo, e do sistema de condução por treliça baixa. Detalhe dos três primeiros vasos à esquerda, dispostos sobre lisímetros de pesagem. Fazenda Areão - ESALQ/USP.

A adubação de plantio foi de 20g de NPK 4-30-10, mais 6,4% de Ca. As mudas de lúpulo, com 3 a 4 folhas, foram transplantadas aos vasos em 10/03/2021. Após um período de aclimação de 30 dias, em 10/04/2021 iniciou-se o manejo de tutoramento.

Dos sete vasos usados para o cultivo do lúpulo, três foram dispostos sobre lisímetros de pesagem (Figura 1 e 2). A lisimetria de pesagem é um dos métodos mais precisos e confiáveis para a determinação ou estimativa da evapotranspiração (ALLEN et al., 2011). Esse método consiste em determinar as entradas (irrigação e precipitação) e saídas (evapotranspiração e drenagem) de água através da mensuração da variação do peso de um bloco de solo por meio de um sistema de células de carga (CAMPECHE et al., 2011; LOURENÇO, 2020).

A irrigação dos vasos, por sistema de gotejo, foi automatizada a partir do monitoramento do peso dos vasos. O sistema de irrigação era acionado sempre que o vaso atingisse o limiar de peso pré-estabelecido (peso de irrigação).

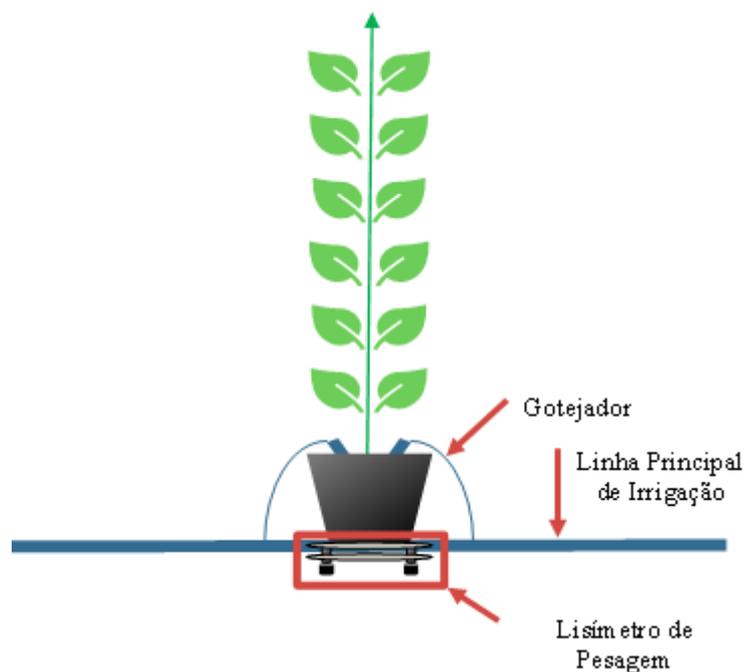


Figura 2. Representação de um vaso disposto sobre uma balança lisimétrica e do sistema de irrigação por gotejo. Fazenda Areão - ESALQ/USP.

Apesar do solo usado para o preenchimento dos vasos ter sido desestruturado, a partir dos dados de umidade do solo em capacidade de campo (θ_{cc} , tensão de 100 cca) e ponto

de murcha permanente (θ_{pmp} , tensão de 15000 cca) (Tabela 1), e do volume de solo do vaso (V_{solo}), de 14,4litros, foi calculada a capacidade máxima de armazenamento de água (Wd_{max}) (Equação 2), a fim de quantificar a tensão crítica de água no solo relacionado ao peso de irrigação.

$$Wd_{max} = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) V_{solo} \quad (2)$$

$$Wd_{max} = (0,225 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} - 0,107 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}) 14,4 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 \text{ vaso}^{-1}$$

$$Wd_{max} = 1699,2 \text{ cm}^3 \text{ vaso}^{-1}$$

Para a obtenção da umidade crítica (θ_c), considerou-se a diferença entre a umidade em capacidade de campo (θ_{cc}) descontado da massa de água evapotranspirada (valor da lâmina da irrigação de $166,6 \text{ cm}^3$) por unidade cúbica de solo (Equação 3).

$$\theta_c = [\theta_{cc} - (LI/V_{solo})] \quad (3)$$

$$\theta_c = [0,225 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} - (166,6 \text{ cm}^3 / 14400 \text{ cm}^3)]$$

$$\theta_c = 0,213 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

Explicitando na equação 1 a tensão de água do solo, obtem-se a tensão crítica relativa ao peso de irrigação (Equação 4):

$$h = \frac{1}{\alpha} + \left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta_c - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

$$h = \frac{1}{0,079} + \left[\left(\frac{0,498 - 0,100}{0,213 - 0,100} \right)^{\frac{1}{0,297}} - 1 \right]^{\frac{1}{1,476}}$$

$$h = 219,6 \text{ cca}$$

A área foliar das plantas foi mensurada semanalmente, entre 30/08/2021 e 10/12/2021. Em cada ocasião eram mensurados o total de folhas e o comprimento e a largura de cada unidade (PARTIELI et al., 2006). Um modelo para estimativa da área foliar (Figura 3) foi obtido, previamente, usando-se os dados de área foliar, obtidos com uso de software

AFSOFT (JORGE; SILVA, 2009), e do comprimento e largura dessas folhas de plantas lúpulo, cv. *Cascade*.

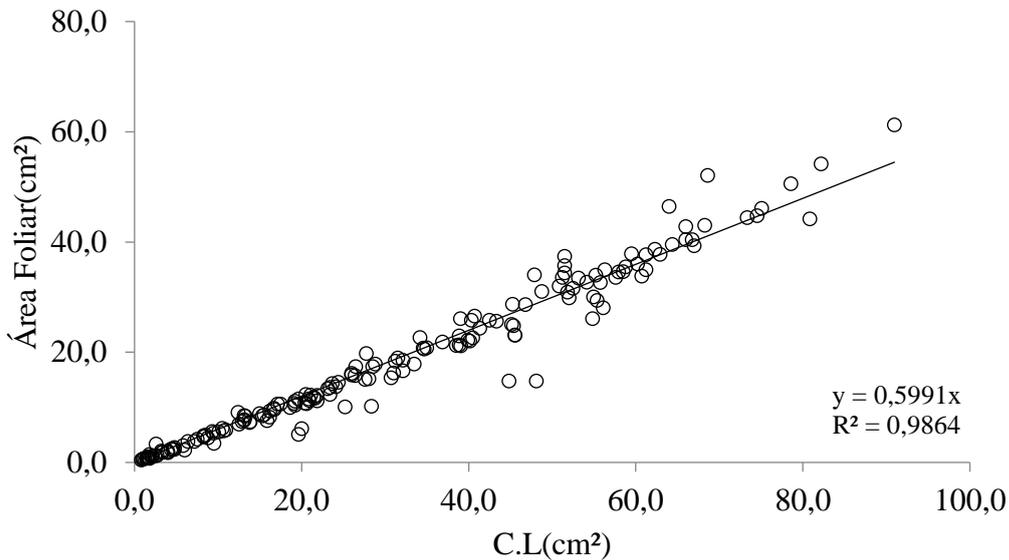


Figura 3. Correlação entre a área foliar e o produto comprimento-largura (C.L.) de folhas de lúpulo, variedade *Cascade*. Modelo de estimativa da área foliar ajustado a partir da análise de regressão linear simples.

Dados de temperatura mínima (T_{\min} , °C), média (T_{med} , °C) e máxima (T_{\max} , °C) do ar, radiação solar global (Q_g , $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e precipitação pluvial (P , mm) foram coletados do posto meteorológico “Professor Jesus Marden dos Santos” do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, localizado a 2,07 km do local do experimento.

Para o cálculo do fotoperíodo (N) (equação 6) foi necessário determinar o ângulo horário ao nascer do sol (equação 5):

$$hn = \text{acos} [-(\text{tg}\delta \text{tg}\phi)] \quad (5)$$

$$N = \frac{2 \text{hn}}{15^\circ \text{h}^{-1}} \quad (6)$$

Onde δ é a declinação solar (°) e ϕ a latitude do local (°).

3.3. Resultados e Discussão

Durante o período de avaliação da emissão de folhas pelas plantas de lúpulo, a temperatura média do ar oscilou entre 10,9°C e 39,6°C; sendo que a média de todo o período ficou em 23,2°C. A temperatura máxima chegou aos 39,6°C, no dia 21//09/2021 e a mínima atingiu os 10,9°C em 24/09/2021. (Figura 4). Os valores mínimos, médios e máximos encontram-se dentro da média histórica de temperatura de Piracicaba para o mesmo período.

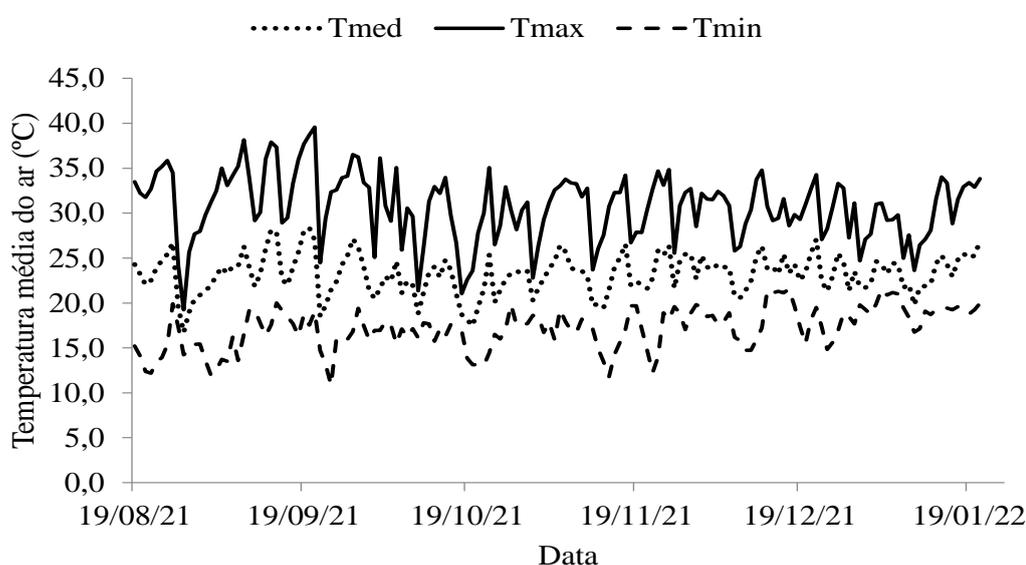


Figura 4. Temperatura máxima, média e mínima do ar registradas durante o período experimental. Fazenda Areão - ESALQ/USP. 19/08/2021-21/01/2022.

Conforme os registros (Figura 4), a temperatura média se manteve, na maior parte do tempo, acima de 20°C, considerada ideal ao desenvolvimento vegetativo da cultura (AMORIELLO et al 2019; SPÓSITO, 2019). A temperatura máxima superou o limiar ótimo de 30°C em praticamente 56% dos dias do período experimental. Desses dias, 19% superaram temperaturas de 35°C, considerada prejudicial à cultura. Biendl et al. (2015) destacam que temperaturas acima dos 35°C - 40°C provocam a paralisação do crescimento e queda dos cones, especialmente quando há predomínio de tempo seco.

Já em relação à temperatura mínima, os valores observados para o período ficaram entre 10,9°C e 20,6°C, superiores ao critério térmico para que a planta entre em estágio de

dormência, já que são necessários de 1 a 2 meses com temperaturas abaixo de 5°C (DODDS et al., 2017).

A radiação solar global (Q_g) acumulada no período foi de 3158,67 MJ m⁻²d⁻¹ com uma média diária de 20,25 MJ m⁻²d⁻¹. Valores mínimo e máximo foram respectivamente de 3,64 MJ m⁻² d⁻¹ e 32,11 MJ m⁻² d⁻¹ (Figura 5). Em relação ao fotoperíodo, o menor valor foi de 11,3 horas, observado no primeiro dia do experimento (19/08/2021), chegando ao máximo de 13,4 horas em 20/12/2021, voltando a decair após essa data.

Durante o florescimento, a partir do dia 02/12/2021 até o final do período experimental (21/01/2022), o fotoperíodo médio foi de 13,3 horas, abaixo de valores de fotoperíodo considerados ótimos para a cultura, de 15 a 16 horas de sol por dia, principalmente durante as fases de florescimento e formação de cones (THOMAS; SCHWABE, 1969; NEVE, 1991; KREBS, 2019).

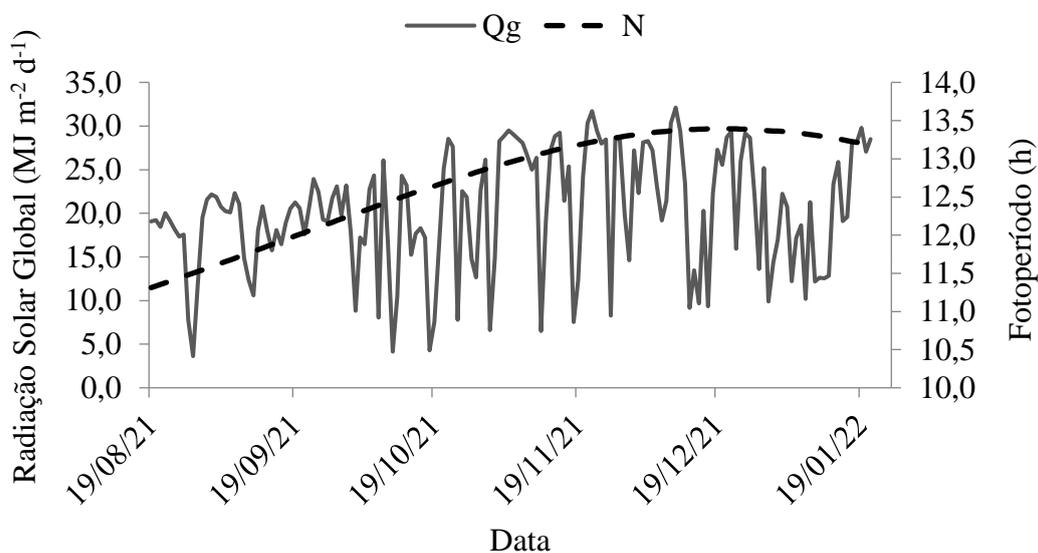


Figura 5. Radiação solar global (Q_g) e fotoperíodo (N) para o período de condução experimental. Fazenda Areão - ESALQ/USP. 19/08/2021-21/01/2022.

Nesse período, a precipitação pluvial foi de 599,2mm acumulados. Desse montante, 0,6% (3,6mm) foram registrados no mês de setembro de 2021; 22% (132mm) no mês outubro de 2021; 23,9% (143,3mm) no mês novembro de 2021; 23,5% (141 mm) no mês dezembro de 2021 e 29,9 % (179,34mm) no mês de janeiro de 2022 (Figura 6). Os valores de precipitação

observados para o período do experimento foram menores que a média prevista para Piracicaba, de 732,8 mm. Por conta do reduzido volume precipitado, a suplementação hídrica via irrigação foi frequente. O montante irrigado foi de 831,4mm.

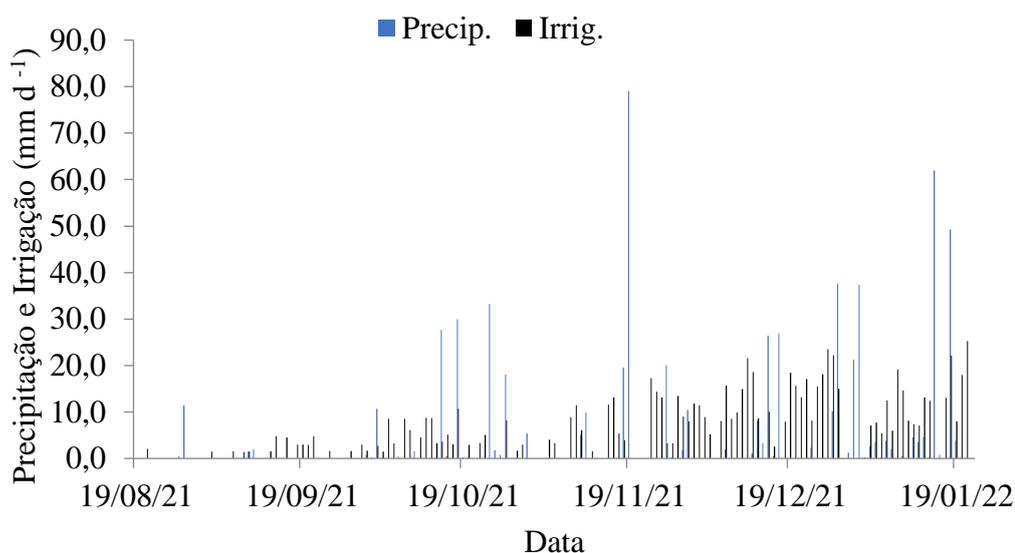


Figura 6. Precipitação, Irrigação observadas durante o ciclo da cultura do lúpulo 17/05/2021 - 20/07/2021. Fazenda Areão - ESALQ/USP 17/05/2021 - 20/07/2021.

A partir da análise de crescimento das plantas, identificou-se uma área foliar inicial de $0,009 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ (30/08/2021). Com aumento exponencial, o lúpulo atingiu a AF máxima de $0,381 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, em 10/12/2021, coincidindo com a floração. É importante destacar que em áreas de produção as plantas podem atingir 8 a 9m de altura, com índice de área foliar se aproximando de 9,0 (ENGELHARD et al. 2011, SPÓSITO et al., 2019). Nesse estudo, como as plantas foram conduzidas até 2,0 m de altura (estudo parcial do ciclo de produção), os valores de área foliar são menores.

Com o aumento da disponibilidade energética local, ou seja, aumento da temperatura do ar (Figura 4), da radiação solar global e do fotoperíodo (Figura 5), típico da transição inverno-primavera-verão, o crescimento, exposto pela área foliar, foi exponencial. Da mesma forma foi registrado maior consumo hídrico (Figura 7).

No período inicial de desenvolvimento das plantas, durante o mês de setembro de 2021 (Figura 7), a área foliar (AF) variou de 0,01 até $0,028 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, com irrigação média

de 0,08 L vaso⁻¹ dia⁻¹. Durante o mês de outubro a AF passou de 0,033 à 0,090 m² planta⁻¹, com a irrigação aumentando para um valor médio de 0,20 L vaso⁻¹ dia⁻¹. No mês seguinte, novembro de 2021, a AF chegou aos 0,21 m² planta⁻¹, e a lâmina de irrigação foi de 0,32 L vaso⁻¹ dia⁻¹. Por fim, o mês de dezembro apresentou os maiores valores de AF, de 0,28 até 0,38 m² planta⁻¹, com uma irrigação média de 0,58 L vaso⁻¹ dia⁻¹. Os maiores valores de área foliar e irrigação de dezembro de 2021 (Figura 7) coincidiram com floração das plantas de lúpulo. Segundo Krofta et al. (2013), a maior demanda hídrica ocorre durante a fase de formação de cones.

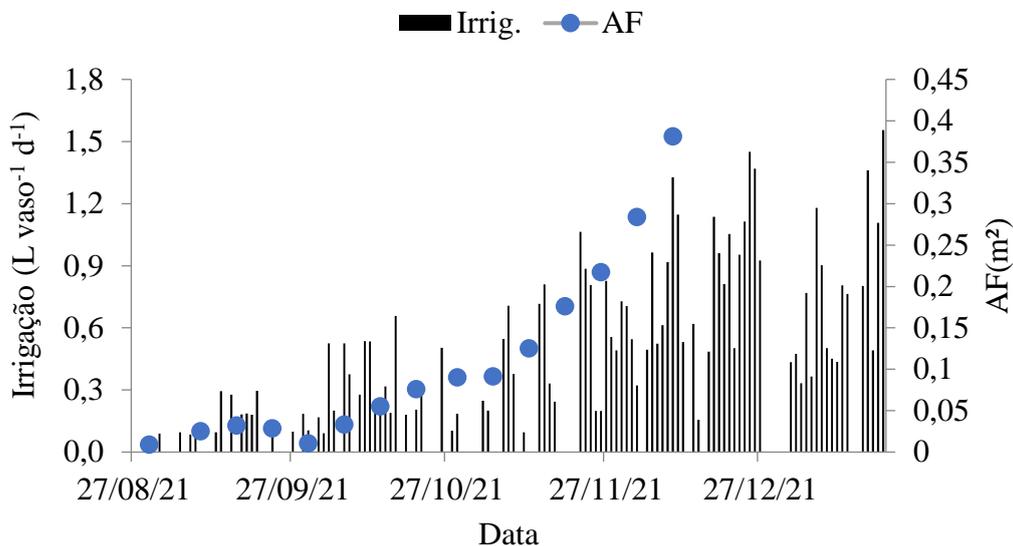


Figura 7. Evolução da demanda de Irrigação (L vaso⁻¹ d⁻¹) do lúpulo em função do aumento da área foliar (AF, m²) durante o ciclo da cultura no período 17/05/2021 - 20/07/2021. Fazenda Areão - ESALQ/USP 17/05/2021 - 20/07/2021.

A ETc acumulada no período experimental foi de 17,84L vaso⁻¹ (289,8 mm), com uma média de 0,25 L vaso⁻¹ dia⁻¹ (4 mm dia⁻¹) (Figura 8A). Os valores mínimos e máximos de ETc foram respectivamente de 0,068L vaso⁻¹ dia⁻¹ (1,1mm) em 14/09/2021 e 0,69 L vaso⁻¹ dia⁻¹ (11,26mm) no dia 13/01/2022. Nessas ocasiões as áreas foliares eram, respectivamente, de 0,01m² a 0,028m² (14/09/2021) e maior que 0,38m² (13/01/2022).

A partir da análise de correlação entre a evapotranspiração do lúpulo e a área foliar, e do modelo ajustado (Figura 8B), observa-se que para essa cultura, assim como verificado para culturas como citros e cafeeiro produzidos também em Piracicaba – SP, tem-se o consumo

média de um litro por metro quadrado de área foliar (MARIN et al., 1999; MARIN; ANGELOCCI, 2011).

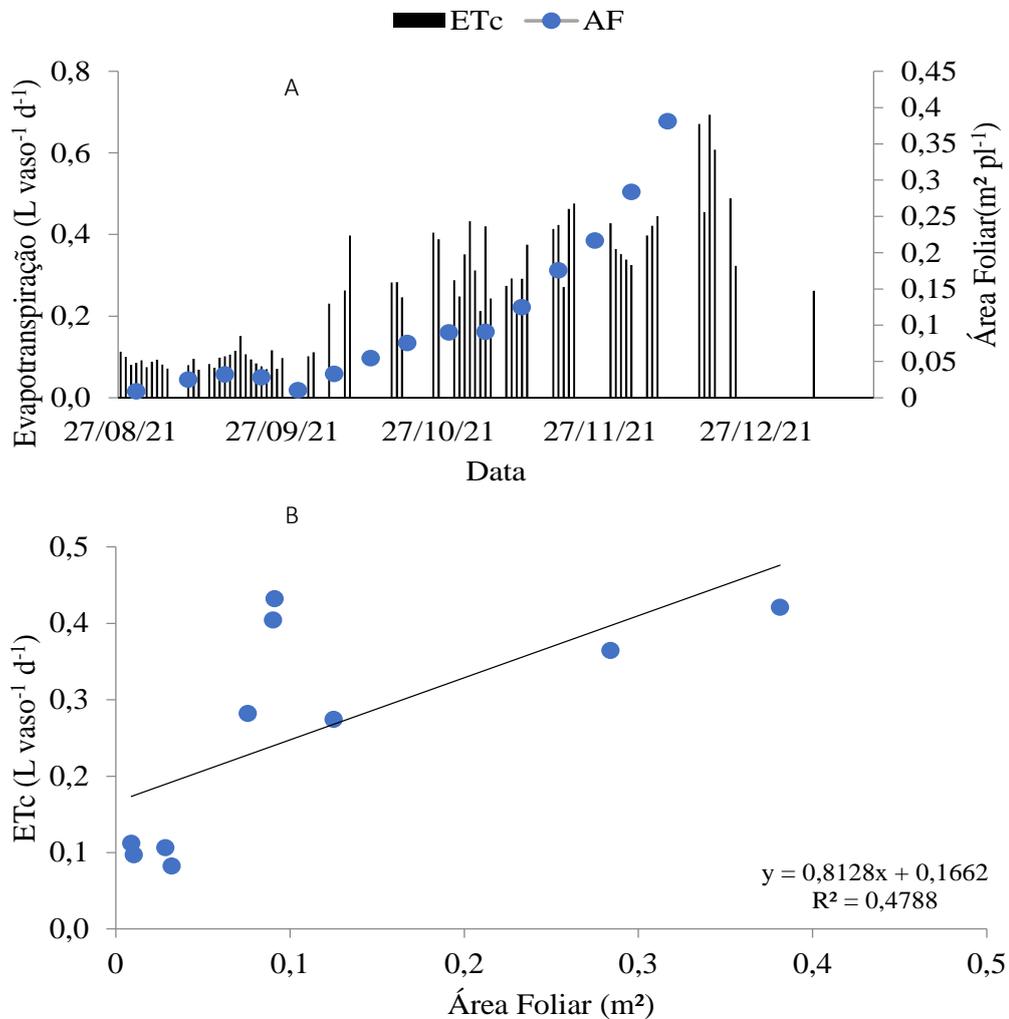


Figura 8. Evolução temporal da evapotranspiração e da área foliar do lúpulo (ETc) (A) e a correlação entre a evapotranspiração da cultura e a área foliar (B). Período: 17/05/2021 à 20/07/2021.

Como os valores de ETc representam uma fração de um ciclo de desenvolvimento completo (Figura 8A), são menores daqueles apresentados por Sousa (2021), que variaram de 1294, 71 até 1347, 25 mm ciclo⁻¹.

Sousa (2021) observou que na fase inicial de desenvolvimento da cultura a ETc foi de 86 a 113 mm, com aumentando gradativo, atingindo valores intermediários na fase de crescimento exponencial (ETc de 289 a 334 mm). Essa condição, observada em Botucatu –

SP, é muito similar à registrada para Piracicaba – SP (Figura 8A). Em Piracicaba-SP, no início do ciclo, durante os meses de setembro e outubro, em que se observa um desenvolvimento mais lento da área foliar, os valores médios de ETc foram de 0,09 L mês⁻¹ (1,47 mm mês⁻¹) e 0,27 L mês⁻¹ (4,40 mm mês⁻¹), respectivamente. Já os meses de novembro e dezembro, em que observamos um crescimento exponencial da cultura, os valores médios de ETc foram de 0,33 L mês⁻¹ (5,41 mm mês⁻¹) e 0,45 L mês⁻¹ (7,32 mm mês⁻¹), respectivamente.

Já Portugal (2021) constatou que o mês de dezembro foi o mês com maiores valores de ETc para a cultura do lúpulo chegando a valores 38mm durante a última semana do mês, coincidindo também com o mês de maior demanda para o lúpulo em Piracicaba; porém, vale ressaltar que ambas as culturas encontravam-se em fases fenológicas distintas, enquanto que o lúpulo em Piracicaba estava em estágio de florescimento, o lúpulo analisado por Portugal (2021) encontrava-se em estágio de crescimento vegetativo. Assim, os maiores valores de ETc observados durante o mês de dezembro podem ser atribuídos às temperaturas mais elevadas características desse mês nas duas regiões de cultivo.

3.4. Conclusão

A demanda hídrica do lúpulo apresentou correlação com a disponibilidade de energia e demanda atmosférica, e com o crescimento da cultura, expresso pela sua área foliar. O crescimento da cultura, quantificado a partir da área foliar, foi temporalmente exponencial, sem transparecer prejuízo por questão térmica. O consumo hídrico acompanhou o aumento da área foliar e, demonstrou a necessidade média de 1L por metro quadrado de folhagem.

Referências

- ACOSTA-RANGEL, Aleyda et al. Hop (*Humulus lupulus* L.) phenology, growth, and yield under subtropical climatic conditions: Effects of cultivars and crop management. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 5, p. 764-772, 2021.
- AFONSO, Sandra; ARROBAS, Margarida; RODRIGUES, M. Ângelo. Soil and plant analyses to diagnose hop fields irregular growth. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 4, p. 1999-2013, 2020.

- AGEHARA, Shinsuke et al. Crop management practices and labor inputs for hop production in Florida: HS1409, 3/2021. **EDIS**, v. 2021, n. 2, 2021.
- ALVARES, CA; STAPE, JL; SENTELHAS, PC; GONÇALVES, JLM; SPAROVEK, G. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift** v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- ALVES, F. C. **Influência da rega na produtividade e na qualidade da produção do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), variedade Nugget, na região da Galiza**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.
- ALLEN, Richard G. et al. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 921-929, 2011.
- AMORIELLO, T. Multi-criteria approach for land suitability assessment of hop cultivation in Italy. **Int. J. Agric. Environ. Res.** 2019, 5, 277–286.
- BIENDL, Martin et al. **Hops: their cultivation, composition and usage**. Fachverlag Hans Carl, 2015.
- Brewers Association **National beer sales and production data**, 2020. Disponível em: <https://www.brewersassociation.org/statistics-anddata/national-beer-stats/>. Acesso em: 1 de jun. de 2022
- CAMPECHE, Luiz FM de S. et al. Lisímetro de pesagem de grande porte.: desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 519-525, 2011.
- DE KEUKELEIRE, J.; JANSSENS, I.; HEYERICK, A.; GHEKIERE G.; CAMBIE, J.; RUIZ, I. R.; BOCKSTAELE, E. V.; KEUKELEIRE, D. D. Relevance of organic farming and effect of climatological conditions on the formation of α -Acid, β -Acids, desmethylxanthohumol, and xanthohumol in hop (*Humulus lupulus* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 1, p. 61-66, 2007.
- DODDS, K. **Hops: a guide for new growers**. New South Wales: Department of Primary industries, 2017.

- DURELLO, Renato S.; SILVA, Lucas M.; BOGUSZ, Stanislaw. Química do lúpulo. **Química Nova**, v. 42, p. 900-919, 2019.
- EMBRAPA - Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília: EMBRAPA Solos, 356p, 2018.
- ENGELHARD, B.; KAMMhuber, K.; LUTZ, A., LACHERMEIER, U.; BERGMEIER, M. Blattflächenentwicklung und Ertragsaufbau wichtiger Hopfensorten, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising-Weihenstephan, V. 11, 2011.
- EVANS, R. **Hop management in water-short periods**. 2003. Disponível em: <http://www.willingham-nurseries.co.uk/books/Hops/em4816.pdf>. Acesso em: 10 de jul. de 2022.
- FANDIÑO, M. et al. 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, 2015.
- FRIC, V. *et al.* **Hop production**. Amsterdam: Elsevier Science, 1991. 286 p. (Developments in Crop Science (Book 16).
- GRUBERT, Daniel Alves da Veiga. **Consortiação de cana-de-açúcar e canola: desempenho agrônomo e bases para simulação**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. doi:10.11606/D.11.2018.tde-10102018-115946. Acesso em: 10 jun. 2022
- GUIMARÃES, João de Jesus. **Comportamento agrônomo do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) em cultivo protegido submetido a irrigações com diferentes faixas de pH da água na região de Botucatu-SP**. 2020.
- IHGC (2019) International Hop Growers' Convention IHGC- Economic Commission Summary Reports Nuremberg, Germany - November 11, 2019. Em: https://www.usahops.org/img/blog_pdf/266.pdf . Acesso em: 20 de mai. de 2022.

- IHGC (2021) International hop grower's convention. Economic Commission. Summary reports. November 2020. Em: http://www.hmelj-giz.si/ihgcdoc/2020_NOV_IHGC_EconCommReport.pdf. Acesso em: 20 de mai. de 2022.
- JASTROMBEK, Jessiane Mary et al. Hop: An emerging crop in subtropical areas in Brazil. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 393, 2022.
- JORGE, LA de C.; SILVA, DJ da CB. AFSoft: manual de utilização. 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPDIA-2010/12253/1/LI03-2009.pdf>. Acesso em: 23 de mai. de 2022.
- KIŠGEČI, Jan. **Vodni režim biljaka hmelja u različitim uslovima navodnjavanja i mineralne ishrane**. Institut za poljoprivredna istraživanja, 1974.
- KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlin, Walter de Gruyter. 390p, 1931.
- KOŘEN J, Influence of plantation row spacing on quality and yield of hops. **Plant, Soil and Environment**, 53, 276–282, 2007.
- KORPELAINEN, Helena; PIETILÄINEN, Maria. Hop (*Humulus lupulus* L.): traditional and present use, and future potential. **Economic Botany**, p. 1-21, 2021.
- KREBS, Candace. Hops: a viable alternative crop for the Central/Southern plains? **Crops & Soils**, v. 52, n. 4, p. 4-6, 2019.
- KROFTA, K.; J. KUČERA, J.; URBAN, J. Transpiration – an important contribution to overall water balance of the hop plantation. In: III International Humulus Symposium. **Acta Hort**, n. 110, p. 183-190, 2013.
- KROFTA, K.; KUČERA, J. **Mathematical model for prediction of yield and alpha acid of the Scientific Commission**, p. 112, 2009.
- LOURENÇO, Leandro Fellet. **O efeito da deficiência hídrica em plantas de soja**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- MACKEGÅRD, Ida Elisabeth. **A hopeful study of hop**. 2021.

- MARCOS, J. A. M.; NADAL, J. L. O.; ANDIÓN, J. P.; ALONSO, J. V.; RAMISQUIDO, J. M. G. P.; PAZ, J. F. **Guía del cultivo del lúpulo**. Galícia, ESP: Centro Investigaciones Agrarias de Mabegondo, 2011.
- MARIN, Fabio R.; ANGELOCCI, Luiz Roberto. Irrigation requirements and transpiration coupling to the atmosphere of a citrus orchard in Southern Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 1091-1096, 2011.
- MARIN, Fábio Ricardo et al. Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in Southern Brazil. **Experimental Agriculture**, v. 41, n. 2, p. 187-197, 2005.
- NAGLIČ, Boštjan; CVEJIC, Rozalija; PINTAR, Marina. Vodenje Namakanja Hmelja (*Humulus lupulus* L.): PREGLED. **Hmeljarski Bilten**, v. 24, 2017.
- NAKAWUKA, P.: **Efeito da irrigação por déficit no rendimento, na qualidade e no retorno do produtor de hortelã e lúpulo nativo no estado de Washington**, dissertação, Universidade Estadual de Washington, Departamento de Engenharia de Sistemas Biológicos, 2013.
- NAKAWUKA, P.; PETERS, T.P.; KENNY, S.; WALSH, D.: Effect of deficit irrigation on yield quantity and quality, water productivity and economic returns of four cultivars of hops in the Yakima Valley, Washington State. **Industrial Crops and Products**, 98: 82–92, 2017.
- NEVE, R. A. **Hops**. Bury St Edmunds: Springer – Science + Business Media, 1991.
- PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; DETMAM, E.; CAMPOSTRINI, E. Estimativa da área foliar do cafeeiro Conilon a partir do comprimento e largura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 306, p. 204- 210, 2006.
- PORTUGAL, Leidiane. **Análise de preservação de água no solo na cultura irrigada de lúpulo com o uso de cobertura morta**. 2021.
- RODRIGUES, M. A.; MORAIS, J. S.; CASTRO, J. P. M. **Jornadas de lúpulo e cerveja: novas oportunidades de negócios**. Bragança, POR: Instituto Politécnico de Bragança, 2015.

- ROSSINI, Francesco et al. 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, 2021.
- RYBAČEK, V. (1991). **Hop production**. Developments in Crop Science 16. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
- SANTOS, Thais Leticia dos. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação em Piracicaba (SP) e influência sobre a produtividade estimada da Soja**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. doi:10.11606/D.11.2020.tde-30042020-095525. Acesso em: 24 jun. 2022.
- SOUSA, Francielly Guieiro Gomes de. **Determinação da evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo do lúpulo em diferentes texturas de solo**. 2021.
- SPÓSITO, M.B; ISMAEL, R. V.; BARBOSA, C. M. A.; TAGLIAFERRO, A. L. **A cultura do lúpulo**. Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca, 2019. 62 p. (Série Produtor Rural, 68).
- SREČEC, S.; KVATERNJAK, I.; KAUČIC, D.; ŠPOLJAR, A.; ERHATIČ, R. Influence of climatic conditions on accumulation of alpha acids in hop cones. **Agric. Conspec. Scient.**73, 2008, in press.
- THOMAS, G. G.; SCHWABE, W. W. Factors controlling flowering in the hop (*Humulus lupulus* L.). **Annals of Botany**, v. 33, n. 4, p.781-793, set. 1969.
- TURNER, S. F.; BENEDICT, C. A.; DARBY, H.; HOAGLAND, L. A.; SIMONSON, P.; SERINE, J. R.; MURPHY, K. M. Challenges and opportunities for organic hop production in the United States. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 6, p. 1645-1654, 2011.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44:892-898, 1980.
- WAMPLE, R. L.; FARRAR, S. L. Yield and quality of furrow and trickle irrigated hop (*Humulus lupulus* L.) in Washington State. **Agricultural Water Management**, v. 7, n. 4, p. 457-470, 1983.

ZEPP G.; SMITH S.; HARWOOD J. **Hops: an economic assessment of the feasibility of providing multiple-peril crop insurance** – Prepared by the Economic Research Service, USDA, for the Consolidated Farm Service Agency, Office of Risk Management; July 26, 1995. Disponível em: <http://www.rma.usda.gov/pilots/feasible/pdf/hops.pdf>. Acesso em: 23 de mai. de 2022.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Em função dos resultados obtidos, conclui-se que:

- i- Existe uma forte relação entre o crescimento da cultura do lúpulo, representado através da emissão de folhas, com temperatura do ar;
- ii- O crescimento da cultura durante o período experimental, quando quantificado a partir da área foliar, foi temporalmente exponencial, sem transparecer prejuízo por questão térmica;
- iii- A condição térmica, entre os meses de março e junho de 2021, manteve a cultura do lúpulo em crescimento, sem dormência no período de inverno. O que indica alteração do comportamento da cultura quando comparada às regiões de origem;
- iv- A demanda hídrica do lúpulo apresentou correlação com a disponibilidade de energia, demanda atmosférica e com o crescimento da cultura, expresso pela sua área foliar.