

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 10/07/2027

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until July 10, 2027

CAIO SCARDINI NEVES

**SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA NA PRODUTIVIDADE, DESEMPENHO
ECOFISIOLÓGICO E RENDIMENTO FITOQUÍMICO DE LÚPULO (*Humulus
lupulus* L.), VAR. COMET, CULTIVADO EM CONDIÇÕES SUBTROPICAIS**

Botucatu

2025

CAIO SCARDINI NEVES

**SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA NA PRODUTIVIDADE, DESEMPENHO
ECOFISIOLÓGICO E RENDIMENTO FITOQUÍMICO DE LÚPULO (*Humulus
lupulus* L.), VAR. COMET, CULTIVADO EM CONDIÇÕES SUBTROPICAIS**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia - Horticultura.

Orientador: Dr. Filipe Pereira Giardini
Bonfim

Botucatu

2025

N518s	Neves, Caio Scardini Suplementação luminosa na produtividade, desempenho ecofisiológico e rendimento fitoquímico de lúpulo (<i>Humulus lupulus</i> L.), var. Comet, cultivado em condições subtropicais / Caio Scardini Neves. -- Botucatu, 2025 73 p. : il., tabs., fotos Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Filipe Pereira Giardini Bonfim 1. Agronomia. 2. Horticultura. 3. Fitoquímicos. 4. Produtividade agrícola. 5. Fenologia vegetal. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA NA PRODUTIVIDADE, DESEMPENHO ECOFISIOLÓGICO E RENDIMENTO FITOQUÍMICO DE LÚPULO (*Humulus lupulus*) CULTIVADO EM CONDIÇÕES SUBTROPICAIS

AUTOR: CAIO SCARDINI NEVES

ORIENTADOR: FILIPE PEREIRA GIARDINI BONFIM

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Horticultura), pela Comissão Examinadora:



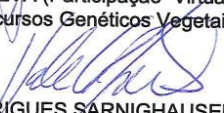
Professor Doutor FILIPE PEREIRA GIARDINI BONFIM (Participação Presencial)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - Unesp



Pesquisador Doutor GABRIEL CÁSSIA FORTUNA (Participação Presencial)
área de Cultivo de Lúpulo / Braçuca Lúpulos



Doutor JÚLIO CÉSAR RODRIGUES LOPES SILVA (Participação Virtual)
Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Recursos Genéticos Vegetais / Instituto Agrônomo de Campinas



Professora Doutora VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN (Participação Presencial)
Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - Unesp



Professora Doutora JANINE FARIAS MENEGAES (Participação Presencial)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - Unesp

Botucatu, 10 de julho de 2025

*Com todo o meu amor,
dedico aos meus pais, Jucinéa e Welington
e à minha companheira de vida, Larissa.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Jucinéa e Welington, sou muito grato por sempre me apoiarem e terem me feito chegar até aqui, me dando todo o suporte necessário para realizar os planos traçados. A minha companheira Larissa, por acreditar em mim e me dar ânimo para sonhar mesmo quando as coisas parecem impossíveis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Filipe Pereira Giardini Bonfim, pela confiança ao longo dos anos, pelos ensinamentos e por acreditar no meu potencial com a oportunidade de realizar o mestrado e o doutorado.

Aos meus queridos amigos da equipe HorgBio, eu agradeço por me receberem e por serem tão importantes na construção deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação, a FCA-UNESP, e seus professores e funcionários pelo profissionalismo e assistência.

A FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa (2023/12485-0).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001, através da concessão da bolsa de estudos para o doutorado.

RESUMO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta perene de grande relevância na produção de cervejas, devido às suas propriedades aromáticas e de amargor, no entanto, o cultivo depende de faixas ideais de latitude, o Brasil não está em nenhuma dessas faixas e por isso é necessário adotar estratégias de produção. O manejo do fotoperíodo desempenha um papel crucial no cultivo, pois o lúpulo é uma planta de dias curtos e que depende de fotoperíodo ideal determinado para transitar entre as fases vegetativa e reprodutiva. Assim, compreender e ajustar o fotoperíodo é essencial para otimizar o manejo agrônômico e alcançar altos índices de produtividade e qualidade no cultivo de lúpulo, especialmente, em regiões de latitudes não ideais. Dessa forma, foram avaliadas plantas da var. Comet em sob dois tratamentos, sob a suplementação luminosa e fotoperíodo alterado e sem suplementação luminosa com o fotoperíodo natural de Botucatu-SP, durante duas safras. Foi realizado o acompanhamento de cada fenofase e, assim foram obtidos os dados de duração dos ciclos e das safras. Foram avaliadas medidas morfométricas e produtivas correspondentes ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Também foram realizadas avaliações fitoquímicas como a quantificação de alfa e beta-ácidos e a identificação e a quantificação dos compostos presentes nos óleos essenciais extraídos dos cones. Em relação a duração dos ciclos, nas duas safras as plantas suplementadas com luz tiveram ciclos mais longos (134 e 108 dias na primeira e na segunda safra) do que aquelas no fotoperíodo natural (113 e 91 dias, na primeira e na segunda safra) e, dessa forma, obtivemos melhores resultados do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo nas plantas suplementadas, com destaque pra medidas avaliadas como altura de plantas (567,07 e 428,32 cm, nas plantas com suplementação luminosa e sem, respectivamente), massa fresca dos cones por planta (842,53 e 50,56 g, com e sem suplementação) e massa seca dos cones por planta (221,22 e 12,68 g, com e sem suplementação). Os teores de alfa e beta-ácidos foram semelhantes nos dois tratamentos em safras diferentes, e ambos atingiram valores satisfatórios, e o perfil químico de aroma e amargor não sofreu alteração sob a influência do manejo do fotoperíodo, sendo que as notas olfativas apresentam identidade aromática estável e consistente. Concluimos que o manejo do fotoperíodo possibilita maior potencial no desenvolvimento das plantas e dessa forma, maior capacidade produtiva.

Palavras-chave: *Humulus lupulus* L.; alfa-ácidos; óleos essenciais; fotoperíodo; produtividade.

ABSTRACT

Hops (*Humulus lupulus* L.) are a perennial plant of great importance in beer production due to their aromatic and bittering properties. However, cultivation depends on ideal latitudes. Brazil does not fall within any of these ranges, thus requiring production strategies. Photoperiod management plays a crucial role in cultivation, as hops are short-day plants that depend on an ideal photoperiod to transition between the vegetative and reproductive phases. Therefore, understanding and adjusting the photoperiod is essential to optimize agronomic management and achieve high productivity and quality in hop cultivation, especially in regions with non-ideal latitudes. Therefore, Comet var. plants were evaluated under two treatments: light supplementation and altered photoperiod, and without light supplementation and the natural photoperiod in Botucatu, São Paulo, over two harvests. Each phenophase was monitored, obtaining data on cycle duration and harvests. Morphometric and productive measures corresponding to vegetative and reproductive development were evaluated. Phytochemical evaluations were also performed, including the quantification of alpha and beta acids and the identification and quantification of compounds present in essential oils extracted from the cones. Regarding the duration of the cycles, in both harvests the plants supplemented with light had longer cycles (134 and 108 days in the first and second harvests) than those in the natural photoperiod (113 and 91 days, in the first and second harvests) and, thus, we obtained better results of the vegetative and reproductive development in the supplemented plants, with emphasis on measures evaluated as plant height (567.07 and 428.32 cm, in plants with and without light supplementation, respectively), fresh mass of cones per plant (842.53 and 50.56 g, with and without supplementation) and dry mass of cones per plant (221.22 and 12.68 g, with and without supplementation). The alpha and beta-acid levels were similar in both treatments in different harvests, and both achieved satisfactory values. The chemical profile of aroma and bitterness remained unchanged under the influence of photoperiod management, with the olfactory notes presenting a stable and consistent aromatic identity. We conclude that photoperiod management enables greater plant development potential and, therefore, greater production capacity.

Keywords: *Humulus lupulus* L.; alpha-acids; essential oils; photoperiod; productivity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	A cultura e o interesse comercial.....	17
2.2	Fotoperíodo	21
2.3	Desenvolvimento fenológico	24
2.4	Caracterização fitoquímica	25
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1	Área experimental	27
3.2	Delineamento e tratamentos	28
3.3	Variedade estudada	28
3.4	Caracterização do cultivo.....	29
3.5	Tratos culturais	32
3.6	Manejo do fotoperíodo.....	33
3.7	Fenologia	34
3.8	Análises morfométricas	38
3.9	Análise fitoquímica	39
3.9.1	Rendimento e perfil do óleo essencial	39
3.9.2	Determinação de alfa e beta-ácidos.....	41
3.10	Análise estatística.....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Desenvolvimento fenológico	43
4.2	Análises morfométricas e produtivas	45
4.3	Avaliações fitoquímicas	52
4.3.1	Determinação de alfa e beta-ácidos.....	52
4.3.2	Identificação e quantificação dos compostos	56
5	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta hortícola, perene e dióica, produzida comercialmente por causa da sua inflorescência feminina chamada de cone que possui glândulas de lupulina, ricas em metabólitos especializados (Ruggeri; Loreti; Rossini, 2018; Spósito *et al.* 2019).

As propriedades que são produzidas nos cones possuem importantes características medicinais e industriais, o que possibilita o uso do lúpulo no meio fármaco, no entanto, o seu uso principal é destinado à indústria cervejeira (Zawadzki *et al.* 2017; Keskin *et al.* 2019), pois estas características agregam aroma e amargor às cervejas (Liu *et al.* 2015). Cerca de 97% da produção do lúpulo é destinada para este mercado, as propriedades medicinais como a atividade antimicrobiana e antioxidante ainda protegem a cerveja de contaminações (Durello; Silva; Bogusz Jr, 2019). Segundo dados do Cervbrasil (2024), o setor é responsável por 2,5% do PIB nacional e por gerar 3,1 milhões de empregos, além de ter contribuído com aproximadamente R\$ 230 bilhões no ano passado.

As plantas são originárias do hemisfério norte e as suas florações são induzidas pelo encurtamento dos dias, as glândulas de lupulina estão localizadas nas flores, logo o interesse final no cultivo é a colheita delas. No hemisfério norte essa indução ocorre quando a duração do dia passa a ser inferior a 16 horas de luz (Thomas; Schwabe, 1969; Iskra *et al.* 2019). A duração do dia varia em relação a latitude, geralmente a latitude que melhor induz um bom desenvolvimento do lúpulo está entre 35° a 55° Norte ou Sul da Linha do Equador (Dodds, 2017).

Há um melhor desenvolvimento e produtividade das plantas quando a duração do dia garante um bom crescimento vegetativo antes da indução floral ocorrer com a diminuição do fotoperíodo (Agehara *et al.* 2020). Botucatu está localizada na latitude 22°50' ao Sul da linha do Equador e o fotoperíodo varia de aproximadamente 10 horas no dia mais curto do ano (21/06) a 13 horas no dia mais longo do ano (21/12), não alcançando o fotoperíodo ideal de 16 horas para o desenvolvimento da cultura e, também, promovendo a indução floral precocemente (Pearson; Smith; Chen, 2016; Kolenc *et al.* 2016).

Com a utilização da iluminação artificial há a possibilidade de se manejar o fotoperíodo criando dias mais longos para melhor desenvolvimento das plantas e encurtando os dias para a indução floral no momento ideal, obtendo dessa forma maior produtividade das plantas cultivadas (Agehara *et al.* 2020).

As plantas respondem de formas diferentes às condições ambientais, e para compreender o desenvolvimento delas será necessário entender inicialmente como o desempenho fisiológico influenciará nos estádios fenológicos (Pokorný; Pulkrábek; Nesvadba, 2011). Para isso, será necessário analisar como a suplementação luminosa influenciará no desempenho vegetativo e produtivo das plantas, e como este manejo potencializa a capacidade delas.

Entre as variedades de lúpulo cultivadas no Brasil a var. Comet tem se destacado como um grande potencial de produtividade e qualidade, ela tem apresentado altos níveis de alfa-ácido e uma combinação satisfatória de compostos aromáticos (Sabino *et al.* 2025). Foi lançada em 1974 pelo United States Department of Agriculture (USDA) com a intenção de atender a demanda por lúpulos de alto alfa-ácido, atualmente é utilizada como agente de amargor na fabricação de cervejas (Haley, 2016).

O destaque da var. Comet, no Brasil, tem se baseado na técnica de suplementação luminosa empregada nos campos produtores (Sabino *et al.* 2025), de forma empírica tem se avaliado que esta variedade possui ótima resposta ao efeito do alongamento do dia com a iluminação artificial.

Por isso, se torna importante realizar a validação científica deste dado e comprovar se de fato há eficiência neste manejo, logo, este trabalho tem como objetivo analisar o desenvolvimento fenológico, desempenho produtivo e a qualidade fitoquímica de plantas de var. Comet sob duas condições, com e sem a suplementação luminosa.

5 CONCLUSÕES

Constata-se que realizando o manejo do fotoperíodo adicionando horas a mais de luz artificialmente é possível ter melhores desempenhos nos desenvolvimentos vegetativo e reprodutivo das plantas, dessa forma, alcançando maiores valores de produtividade nas safras. Ainda, foi possível obter ótimos resultados produtivos das plantas fora do melhor período para o desenvolvimento delas, no fim do verão quando os dias já começam a diminuir, o que foi possível pelo manejo do fotoperíodo.

Em relação aos teores de alfa e beta-ácidos, obteve-se valores que alcançaram o padrão comercial nos dois manejos, quando analisamos os seus teores vemos valores semelhantes nos dois manejos e assim, a suplementação luminosa também não causou grandes alterações de modo a prejudicar a qualidade química dos cones.

Quanto ao perfil químico de aroma e amargor, conclui-se que a composição química dos óleos não sofreu alteração sob a influência do manejo do fotoperíodo com a suplementação luminosa, os compostos identificados foram iguais na comparação dos manejos, assim, a suplementação luminosa não prejudicou na composição química dos cones.

Os cones de *H. lupulus* produzidos nas safras de 2022/23 e 2023/24, independentemente do manejo de fotoperíodo, apresentam uma identidade aromática estável e consistente, marcada pela predominância das notas herbáceas e resinosas, decorrentes do elevado teor de *mirceno*. Esse núcleo central foi complementado pela presença recorrente de sesquiterpenos, que conferem caráter amadeirado e condimentado, e por compostos oxigenados e ésteres, responsáveis por nuances florais, cítricas e frutadas.

Dessa forma, avalia-se que o manejo do fotoperíodo na cultura do lúpulo é uma técnica eficiente para controlar o desenvolvimento fenológico e maximizar a produtividade sem causar alterações no perfil de aroma e amargor, e assim, sem causar prejuízos a qualidade química dos cones, este que é um fator determinante no sucesso da produção do lúpulo.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-RANGEL, A.; AGEHARA, S.; RECHCIGL, J. Double-season production of hops (*Humulus lupulus* L.) with photoperiod manipulation in a subtropical climate. **Scientia Horticulturae**, v. 332, p. 113177, 2024.
- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy**. Allured publishing, 2007.
- AGEHARA, S.; ACOSTA-RANGEL, A.; DENG, Z.; RECHCIGL, J.; BOLLIN, S. Hop Yard Establishment and Trellis Construction in Florida. **University of Florida IFAS Extension. HS1345**, 2020.
- ALMAGUER, C.; SCHONBERGER, C.; GASTL, M.; ARENDT, E. K.; BECKER, T. *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.
- ALONSO-ESTEBAN, J. I.; PINELA, J.; BARROS, L.; ĆIRIĆ, A.; SOKOVIĆ, M.; CALHELHA, R. C.; TORIJA-ISASA, E.; CORTES SÁNCHEZ-MATA, M.; FERREIRA, I. C. F. R. Phenolic composition and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties of hop (*Humulus lupulus* L.) Seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 134, p. 154-159, 2019.
- AMORIELLO, T.; FIORENTINO, S.; VECCHIARELLI, V.; PAGANO, M. Evaluation of spent grain biochar impact on hop (*Humulus lupulus* L.) growth by multivariate image analysis. **Applied Sciences**, v. 10, n. 2, p. 533, 2020.
- ARAÚJO COSTA, P. M.; SOUZA, V. C.; COSTA, V. S.; BARROS, E. S.; OLIVEIRA, I. S. da S. Fenofases reprodutivas em uma população de mandacaru (*Cereus jamacaru*) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus* subsp. *pernambucensis*)(Cactaceae)/Reproductive phenophases in a population of mandacaru (*Cereus jamacaru*) and facheiro (*Pilosocereus pachycladus* subsp. *pernambucensis*)(Cactaceae). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30536-30545, 2020.
- ASBC – American Society of Brewing Chemists. Hops Methods – Hops 8: Non-Isomerized Hop Extracts. 2025. Disponível em: <https://www.asbcnet.org/Methods/HopsMethods/Pages/default.aspx>. Acesso em: 6 de jan. de 2025.
- ASTRAY, G.; GULLÓN, P.; GULLÓN, B; MUNEKATA, P. E. S.; LORENZO, J. M. *Humulus lupulus* L. as a natural source of functional biomolecules. **Applied Sciences**, v. 10, n. 15, p. 5074, 2020.
- ATAIDE, J. O.; PRATISSOLI, D.; FRAGOSO, D. F. M.; PINHEIRO, P. F.; Caracterização e atividade inseticida do óleo essencial de *Zingiber officinale* Roscoe - Zingiberaceae sobre *Duponchelia fovealis* Zeller, 1847 (Lepidoptera: Crambidae). **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 13, p. 693, 2020.
- BAUERLE, W. L. Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2019.
- BEDINI, S.; FLAMINI, G.; COSCI, F.; ASCRIZZI, R.; BENELI, G.; CONTI, B. *Cannabis sativa* and *Humulus lupulus* essential oils as novel control tools against the

invasive mosquito *Aedes albopictus* and fresh water snail *Physella acuta*. **Industrial crops and products**, v. 85, p. 318-323, 2016.

BEGUM, M. K.; ALAM, M. R.; ISLAM, M. S.; AREFIN, M. S. Effect of water stress on physiological characters and juice quality of sugarcane. **Sugar Tech**, v. 14, n. 2, p. 161-167, 2012.

BENCKE, C. C.; MORELLATO, L. P. C. Comparação de dois métodos de avaliação de fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica**, v.25, n.3, p. 269-75, 2002.

BEZERRA, G. J.; SCHLINDWEIN, M. M. Agricultura familiar como geração de renda e desenvolvimento local: uma análise para Dourados, MS, Brasil. **Interações (Campo Grande)**, v. 18, n. 1, p. 3-15, 2017.

BIENDL, M.; **Master Brewers Association of the Americas – Technical Quarterly**, 2009. Disponível em: <https://www.mbaa.com/publications/tq/tqPastIssues/2009/Abstracts/TQ-46-2-0416-01.html>.

BONFIM, F. P. G.; VIRIATO, V.; FERNANDES, G. C.; CABRAL, M. N. F.; NEVES, C. S.; CAMPOS, O. P.; ARAÚJO, F. M. S.; RAMOS, A. B. L.; GOMES, J. A. O.; VEIGA-SANTOS, P.; TECCHIO, M. A.; MARQUES, M. O. M. Stability of aroma and bitterness compounds of Fuggle hops grown in subtropical conditions across successive harvests. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, [S.l.], v. 28, 2025

BUAINAIN, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M. da; NAVARRO, Z. **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 2014. p, 514.

CARDONA, T.; SHAO, S.; NIXON, P. J. Enhancing photosynthesis in plants: the light reactions. **Essays in biochemistry**, v. 62, n. 1, p. 85-94, 2018.

CARRÉ, I.; COUPLAND, G.; PUTTERILL, J. Photoperiodic responses and the regulation of flowering. **Endogenous Plant Rhythms (Annual Plant Reviews); Hall, AJW, McWatters, HG, Eds**, p. 167-190, 2008.

CERNEA, S.; VÂTCĂ, S. Phenotypic correlations between some quantitative characters of the hop. *Hop Med.* **Plants**, v. 17, p. 20-23, 2009.

CERVBRASIL. **Dados do setor**. 2024. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/http-www.cervbrasil-org-br-novo_site-wp-content-uploads-2024-06-site-1-e1719587566167-jpg/. Acesso em: 25 ago. 2025.

COOPERATIVA LUTEGA. **El cultivo del lúpulo**. Disponível em: <https://lutega.com/cultivo-lupulo-galicia/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

DARBY, P. Hop growing in England in the 21st century. **J. R. Agric. Soc. England**, v. 165, p. 84-90, 2004.

DELAHUNTY, K. M.; JOHNSTON, J. C. Strategies for Weed Management in Organic Hops, a Perennial Crop. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2, p. 634-640, 2015.

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

DUKE, J. A. Handbook of energy crops. 1983. Disponível em: https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Humulus_lupulus.html. Acesso em: 15 ago. 2022.

DURELLO, R. S.; SILVA, L. M.; BOGUSZ, S. Química do lúpulo. **Química Nova**, 2019, 42: 900-919.

EDWARDSON, J. R. Hops—Their botany, history, production and utilization. **Economic botany**, v. 6, n. 2, p. 160-175, 1952.

EYRES, G. T.; MARRIOTT, P. J.; DUFOUR, J.-P. Comparison of odor-active compounds in the spicy fraction of hop (*Humulus lupulus* L.) essential oil from four different varieties. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 55, n. 15, p. 6252-6261, 2007.

FAOSTAT. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 10 ago. 2022.

FIGUEIREDO, P. L. B.; MOURÃO, S. C.; SILVA, J. K. R.; RAMOS, A. R.; ANDRADE, E. H. A. **Composição química e atividade fungicida do óleo essencial de *Ocimum campechianum* Mill e seu constituinte majoritário metileugenol**. Anais da SBPC, 2023. https://www.sbpnet.org.br/livro/68ra/resumos/resumos/2981_1d1d7a0ee470fa1fd622f8c3b0d2b5e7c.pdf. Acesso em: 13 jan. 2025.

FLAVORNET. 2004. Disponível em: <https://www.flavornet.org/flavornet.html>. Acesso em: 29 ago. 2025.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, v.24, n.4, p.422-3, 1974.

FORTUNA, G. C. **A qualidade do lúpulo brasileiro**. Lamas Brew Blog. 2021. Disponível em: <https://blog.lamasbrewshop.com.br/2021/08/a-qualidade-lupulo-brasileiro.html>. Acesso em: 26 ago. 2025.

FORTUNA, G. C.; GOMES, J. A. O.; CAMPOS, O. P.; NEVES, C. S.; BONFIM, F. P. G. Agronomic performance of *Humulus lupulus* L. varieties cultivated in organic and conventional systems in São Paulo center-west, Brazil. **Ciência Rural**, 53, 8:e20210704, 2023a.

FORTUNA, G. C.; NEVES, C. S.; CAMPOS, O. P.; GOMES, J. A. O.; SILVA, J. C. R. L.; SOUZA, A. A.; FUNARI, C. S.; MARQUES, M. O. M. BONFIM, F. P. G. B. Hop Tropicalization: Chemical Compositions of Varieties Grown under Organic and Conventional Systems in Subtropical Conditions. **Horticulturae**, 9, 8:855, 2023b.

FRANCO, J. R.; DAL PAI, E.; CALÇA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; DAL PAI, A.; SARNIGHAUSEN, V. C. R.; ROMÁN, R. M. S.. Atualização da normal climatológica e classificação climática de köppen para o município de Botucatu-SP. **IRRIGA**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 77–92, 2023. DOI: 10.15809/irriga.2023v28n1p77-92. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4615>. Acesso em: 6 jan. 2025.

FREEPIK. Disponível em: https://br.freepik.com/fotos-gratis/hop-humulus-lupulus-ilustracao-de-botanica-medica-1836_3533343.htm. Acesso em: 08 jun. 2025.

GONSAGA, R. F. **Desenvolvimento de híbridos de lúpulo adaptados às condições tropicais**. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2021.

GUIMARÃES, J. J. **Comportamento Agronômico do Lúpulo (*Humulus lupulus* L.) em Cultivo Protegido Submetido a Irrigações com Diferentes Faixas de pH da Água na Região de Botucatu—SP**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2020.

HAO, J.; SPEERS, R. A.; FAN, H.; DENG, Y.; DAI, Z. A review of cyclic and oxidative bitter derivatives of alpha, iso-alpha and beta-hop acids. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 78, n. 2, p. 89-102, 2020.

HEALEY, J. **The hops list**: 265 beer hop varieties from around the world. Julian Healey, 2016.

HERKENHOFF, M. E.; BRÖDEL, O.; FROHME, M. Aroma component analysis by HS-SPME/GC-MS to characterize Lager, Ale, and sour beer styles. **Food Research International**, v. 194, p. 114763, 2024.

HORNSEY, I. S. **A history of beer and brewing**. Royal Society of Chemistry, 2003.

INIGUEZ, A. B.; ZHU, M.-J. Hop bioactive compounds in prevention of nutrition-related noncommunicable diseases. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 11, p. 1900-1913, 2021.

ISKRA, A. E.; LAFONTAINE, S. R.; TRIPPE, K. M.; MASSIE, S. T.; PHILLIPS, C. L.; TWOMEY, M. C.; SHELLHAMMER, T. H.; GENT, D. H. 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, J. M.; FAGUERAZZI, M. M.; PIEREZAN, H. de C.; RUFATO, L.; SATO, A. J.; RICCE, W. S.; MARQUES, V. V.; LELES, N. R.; ROBERTO, S. R. Hop: An Emerging Crop in Subtropical Areas in Brazil. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 393, 2022.

KESKIN, Ş.; SIRIN, Y.; ÇAKIR, H. E.; KESKIN, M. An investigation of *Humulus lupulus* L.: Phenolic composition, antioxidant capacity and inhibition properties of clinically important enzymes. **South African Journal of Botany**, v. 120, p. 170-174, 2019.

KOLENC, Z.; VODNIK, D.; MANDELIC, S.; JAVORNIK, B.; KASTELEC, D.; CERENAK, A. Hop (*Humulus lupulus* L.) response mechanisms in drought stress: Proteomic analysis with physiology. **Plant physiology and biochemistry**, v. 105, p. 67-78, 2016.

KORPELAINEN, H.; PIETILÄINEN, M. Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and present use, and future potential. **Economic botany**, p. 1-21, 2021.

KOZŁOWSKI, L. A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. **Planta Daninha**, v. 20, n. 3, p. 365-372, 2002.

KROTTENTHALER, M. Hops. In: **Handbook of brewing: Processes, technology, markets**, ed., H. M. Esslinger, 85–104. Weinheim, Germany: Wiley–VCH. 2009.

KUMAR, S.; KUMARI, R.; MISHA, S. Pharmacological properties and their medicinal uses of *Cinnamomum*: a review. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 71, p. 1735, 2019.

LABORATÓRIO DE AGROMETEROLOGIA E RADIOMETRIA SOLAR. 2024. Disponível em: <https://solarimetria.fca.unesp.br/ephemeris/processCoordinate.php>. Acesso em: 20 de dez. de 2024.

LANGEZAAL, C. R. A pharmacognostical study of hop, *Humulus lupulus* L. **Pharmacy world and science**, v. 15, n. 4, p. 178-179, 1993.

LAZZARINI, L. E. S.; PACHECO, F. V.; SILVA, S. T.; COELHO, A. D.; MEDEIROS, A. P. R.; BERTOLUCCI, S. K. V.; PINTO, J. E. B. P.; SOARES, J. D. R. Uso de diodos emissores de luz (LED) na fisiologia de plantas cultivadas: revisão. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, p. 137-144, 2017.

LEÃO, N. V. M.; YARED, J. A. G. Fenofases reprodutivas de seis espécies da família Vochysiaceae que ocorrem na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: contribuições do Projeto Embrapa/DFID, 1999, Belém, PA. Resumos expandidos. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU: DFID, 1999, 1999.

LELES, N. R.; SATO, A. J.; RUFATO, L.; JASTROMBEK, J. M.; MARQUES, V. V.; MISSIO, R. F.; FERNANDES, N. L. M.; ROBERTO, S. R. Performance of hop cultivars grown with artificial lighting under subtropical conditions. **Plants**, v. 12, n. 10, p. 1971, 2023.

LI, H.; XU, Z.; TANG, C. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, London, v.103, n.2, p.155-163, 2010.

LIETH, H. Introduction to phenology and the modeling of seasonality. **Phenology and seasonality modeling**, v. 8, p. 3-19, 1974.

LIU, M.; HANSEN, P. E.; WANG, G.; QIU, L.; DONG, J.; YIN, H.; QIAN, Z.; YANG, M.; MIAO, J. Pharmacological profile of xanthohumol, a prenylated flavonoid from hops (*Humulus lupulus*). **Molecules**, v. 20, n. 1, p. 754-779, 2015.

LONG, S. P.; WOOLHOUSE, H. W. The responses of net photosynthesis to vapour pressure deficit and CO₂ concentration in *Spartina townsendii* (sensu lato), a C₄ species from a cool temperate climate. **Journal of Experimental Botany**, v. 29, n. 3, p. 567-577, 1978.

LOPES, B. A. Aspectos importantes da fisiologia vegetal para o manejo. **Viçosa: UFV**, 2003.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário da Cerveja 2019**. Brasília/DF: MAPA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt->

br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/anuario-da-cerveja-2019/view. Acesso em: 10 jun. 2020.

McMURRY, J. **Química Orgânica – Vol. 2**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

MENON, A. N.; SASIDHARAN, I.; Comparative chemical composition and antimicrobial activity of berry and leaf essential oils of *Piper nigrum* L. **International Journal of Biological & Medical Research**, v. 1, p. 215, 2010.

MORELLATO, L. P. C.; RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F.; JOLY, C. A. 1990. Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em floresta de altitude na Serra do Japi, Jundiaí, São Paulo. **Revista brasileira de Biologia**, 50(1): 149-162.

MOZNY, M.; TOLASZ, R.; NEKOVAR, J.; SPARKS, T.; TRNKA, M.; ZALUD, Z. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 6-7, p. 913-919, 2009.

MUNEER, S.; KIM, E. J.; PARK, J. S.; LEE, J. H. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v.15, n.3, p.4657-4670, 2014.

NESVADBA, V.; CHARVÁTOVÁ, J.; OLŠOVSKÁ, J.; TRNKOVÁ, S. Evaluation of variability in alpha and beta acid content in European hop varieties (*Humulus lupulus* L.). **Kvasny prumysl**, v. 70, n. 4, p. 919–926, 2024.

NEVE, R. A.; **Hops**, 1st ed., Springer: London, 1991.

NEVES, C. S.; AIRES, E. S.; RIBERA, L. M.; CAMPOS, O. P.; FORTUNA, G. C.; GOMES, J. A. O.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; BONFIM, F. P. G. Does organic hop cultivation in subtropical conditions promote physiological and productive changes?. **Ciência Rural**, 2024, 54.9: e20230323.

NORMAN, J. M.; GARCIA, R.; VERMA, S. B. Soil surface CO₂ fluxes and the carbon budget of a grassland. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 97, n. D17, p. 18845-18853, 1992.

PEARSON, B. J.; SMITH, R. M.; CHEN, J. Growth, strobile yield, and quality of four *Humulus lupulus* varieties cultivated in a protected open-sided greenhouse structure. **HortScience**, v. 51, n. 7, p. 838-842, 2016.

POKORNÝ, J.; PULKRABEK, J.; NESVADBA, V. THE PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF HOP PLANT (*Humulus lupulus* L.). **of the Scientific Commission**, p. 114, 2011.

QUIRINO, Z. G. M. **Fenologia, síndromes de polinização e dispersão e recursos Florais de uma comunidade de caatinga no cariri paraibano**. 128 f. Tese de Doutorado em Biologia Vegetal. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2006.

RAVEN, P.H., EVERT, R.F., EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. Ed. Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 2001, 906p.

RIBEIRO, J. F.; GONZALEZ, M. I.; OLIVEIRA, P. E. A. M.; MELO, J. T. (1982) - Aspectos fenológicos de espécies nativas do cerrado. In: **Anais do Congresso Nacional de Botânica**. Teresina. Sociedade Brasileira de Botânica do Brasil/Universidade Federal do Piauí, p. 181-198.

RODRIGUES, M. A.; MORAIS, J. S.; CASTRO, J. P. O lúpulo: da cultura ao extrato. Técnica cultural tradicional. **Livro de atas das Jornadas do Lúpulo e da Cerveja: novas oportunidades de negócio**, p. 1-10, 2015.

RODRIGUES, F. R. **Frutos nativos da floresta amazônica: contribuição ao estudo dos aromas e avaliação da atividade antioxidante**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016. Acesso em: 13 jan. 2025.

RONDANINI, D. P.; SAVIN, R.; HALL, A. J. Estimation of physiological maturity in sunflower as a function of fruit water concentration. **European Journal of Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 295-309, 2007.

ROSSBAUER, G.; BUHR, L.; HACK, H.; HAUPTMANN, S.; KLOSE, R.; MEIER, U.; STAUSS, R.; WEBER, E. Phänologische Entwicklungsstadien von Kultur-Hopfen (*Humulus lupulus* L.). **Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.** v. 47, n. 10, p. 249-253, 1995.

RUGGERI, R.; LORETI, P.; ROSSINI, F. Exploring the potential of hop as a dual purpose crop in the Mediterranean environment: Shoot and cone yield from nine commercial cultivars. **European Journal of Agronomy**, v. 93, p. 11-17, 2018.

RYBÁČEK, V. 1991. **Hop Production**. Elsevier, New York.

SABINO, B. C. C.; BONFIM, F. P. G.; CABRAL, M. N. F.; VIRIATO, V.; CAMPOS, O. P.; NEVES, C. S.; FERNANDES, G. d. C.; GOMES, J. A. O.; FACANALI, R.; MARQUES, M. O. M. Phytochemical Characterization of *Humulus lupulus* L. Varieties Cultivated in Brazil: Agricultural Zoning for the Crop in Tropical Areas. **Horticulturae**, v. 11, n. 5, p. 470, 2025.

SANTANA, A. S.; GIACOBBO, C. L.; PRADO, J. do; UBERTI, A.; LOUIS, B.; ALBERTO, C. M. Fenologia e qualidade de frutos de acessos de *Physalis* spp. **Agrarian**, v. 13, n. 47, p. 1-8, 2020.

SANZ, V.; TORRES, M. D.; LÓPEZ VILARIÑO, J. M.; DOMÍNGUEZ, H. What is new on the hop extraction? **Trends in Food Science & Technology**, v. 93, p. 12-22, 2019.

SKOMRA, U.; BOCIANOWSKI, J.; AGACKA, M. Agro-morphological differentiation between European hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars in relation to their origin. **J. Food Agric. Environ**, v. 11, p. 1123–1128, 2013.

SPÓSITO, M. B.; ISMAEL, R. V.; BARBOSA, C. M. de A.; TAGLIAFERRO, A. L. **A cultura do lúpulo**. 1. ed. Piracicaba: Divisão de Biblioteca – ESALQ, 2019.

STEENACKERS, B.; DE COOMAN, L.; DE VOS, D. Chemical transformations of characteristic hop secondary metabolites in relation to beer properties and the brewing process: A review. **Food Chemistry**, v. 172, p. 742-756, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant Physiology= Fisiologia Vegetal. **Editora Artemed: Porto Alegre, Brazil**, 2013.

TEIXEIRA, A. J. Manejo da água para a cultura do lúpulo. *In*: AQUINO, A. M.; TEIXEIRA, A. J.; FONSECA, M. J. O.; ASSIS, R. L.; OZASSA, T. Y. **Produção de lúpulo na região serrana fluminense**: Manual de boas práticas. Nova Friburgo, RJ: Associação Comercial, Industrial e Agrícola de Nova Friburgo - ACIANF, 2022. cap. 7, p. 83-87.

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.

TOURNOIS, J. Influence de la lumière sur la floraison du houblon japonais et du chanvre déterminées par des semis hâtifs. **Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences de Paris**, v. 155, p. 297-300, 1912.

TRONINA, T.; POPŁOŃSKI, J.; BARTMAŃSKA, A. Flavonoids as phytoestrogenic components of hops and beer. **Molecules**, v. 25, n. 18, p. 4201, 2020.

TURNER, S. F.; BENEDICT, C. A.; DARBY, H.; HOAGLAND, L. A.; SIMONSON, P.; SIRRINE, 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 CLEEMPUT, M.; CATTOOR, K.; DE BOSSCHER, K.; HAEGEMAN, G.; DE KEUKELEIRE, D.; HEYERICK, A. Hop (*Humulus lupulus*)-derived bitter acids as multipotent bioactive compounds. **Journal of natural products**, v. 72, n. 6, p. 1220-1230, 2009.

VAN DEN DOOL, H. A. N. D.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of chromatography**, 1963.

VAN OPSTAELE, F. V.; DE CAUSMAECKER, B.; AERTS, G.; DE COOMAN, L. Characterization of novel varietal floral hop aromas by headspace solid phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry/olfactometry. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 50, p. 12270-12281, 2012.

WHITELAM, G. C.; HALLIDAY, K. J. (Ed.). **Annual plant reviews, light and plant development**. John Wiley & Sons, 2008.

WILSON, D. G. Plant remains from the Graveney boat and the early history of *Humulus lupulus* L. in W. Europe. **New Phytologist**. 75(3):627–648. 1975. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1975.tb01429.x>.

ZANOLI, P.; ZAVATTI, M. Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L. **Journal of ethnopharmacology**, v. 116, n. 3, p. 383-396, 2008.

ZATTLER, F.; JEHL, J. On the influence of atmospheric conditions on yield and quality of the hops in the Hallertau in the period 1926–1961. **Hopfen-Rundschau**, 13 (5), 64-64,(in German), 1962.

ZAWADZKI, A.; ALLOO, C.; GROSSI, A. B.; DO NASCIMENTO, E. S. P.; ALMEIDA, L. C.; BOGUSZ JUNIOR, S.; SKIBSTED, L. H.; CARDOSO, D. R. Effect of hop β -acids as dietary supplement for broiler chickens on meat composition and redox stability. **Food Research International**, v. 105, p. 210-220, 2018.