

## CONDIÇÕES DE COBERTURA DE CÉU E SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA PARA O CULTIVO DE LÚPULO EM BOTUCATU - SP

SARNIGHAUSEN, V.C.R<sup>1</sup>, CAMPOS, F.S<sup>2</sup>, OLIVEIRA, V.C<sup>3</sup>, SILVA, A.C.S<sup>4</sup>, RODRIGUES, S.A<sup>5</sup>, DAL PAI, A<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Bacharel em Física, Prof<sup>a</sup>. Doutora, Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), UNESP, Botucatu – SP, valeria.sarnighausen@unesp.br

<sup>2</sup>Graduação em Física, Assistente Acadêmico, Departamento de Bioprocessos, FCA, UNESP, Botucatu – SP

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia Agrícola, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Bioprocessos, FCA, UNESP, Botucatu – SP

<sup>4</sup>Bacharel em Física, Prof<sup>a</sup>. Doutora, Departamento de Ciências Básicas, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP, Pirassununga-SP

<sup>5</sup>Bacharel em estatística, Prof<sup>a</sup>. Doutor, Departamento de Bioprocessos, FCA, UNESP, Botucatu – SP

<sup>6</sup>Bacharel em Física, Prof<sup>a</sup>. Doutor, Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia, FCA, UNESP, Botucatu – SP

Apresentado no  
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

**RESUMO:** O cultivo de lúpulo no Brasil está em ascensão, impulsionado pelo interesse de vários setores, especialmente cervejarias, dada sua importância e custos elevados na produção de cerveja, sendo quase totalmente importado. No entanto, devido às características climáticas brasileiras, diferentes das regiões temperadas onde o lúpulo é típico, são necessárias adaptações, como a suplementação luminosa, devido a fotoperíodos mais curtos, e o desafio da cobertura de céu, especialmente em locais de verão chuvoso, baixa luminosidade e florescência precoce, o que afeta a qualidade dos cones. Uma análise de cinco anos em Botucatu revelou que aproximadamente 40% da série apresentou céu nublado ou parcialmente nublado, indicando a presença significativa de nuvens. Sendo assim, além da suplementação luminosa, é necessário investir em pesquisas e tecnologias adaptativas quanto à cobertura de céu em períodos importantes do cultivo da planta, como identificação de suplementação luminosa específica para estas condições de cobertura de céu.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fenologia, Fotoperíodo, Temperatura

### SKY COVERAGE CONDITIONS AND LIGHT SUPPLEMENTATION FOR HOP FARMING IN BOTUCATU - SP

**ABSTRACT:** Hop farming in Brazil is on the rise, driven by interest from various sectors, especially from breweries, given its importance and elevated cost for beer production, with it being almost fully imported. However, given the climatic characteristics of Brazil, which differ from temperate regions where hops are typical, adaptations are necessary, such as light supplementation, due to shorter photoperiods and the challenge of sky coverage, especially in places with a wetter summer, low luminosity and early flowering, all of which affect cone quality. A five year analysis for Botucatu showed that approximately 40% of the series had cloudy or partly cloudy conditions, indicating significant presence of clouds. Therefore, in addition to light supplementation, it is necessary to invest in research and adaptive technologies in relation to sky coverage in important periods for plant cultivation, like identifying specific light supplementation for such sky coverage conditions.

**KEYWORDS:** Phenology, Photoperiod, Temperature

**INTRODUÇÃO:** O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta perene, que produz inflorescências, ou cones, que contêm substâncias de interesse comercial, sendo planta típica de países de clima temperado. Seu ciclo de crescimento é em torno de 4 meses, durante os quais a interação entre fotoperíodo e temperatura local desempenha papel decisivo no controle do florescimento (MOZNY et al., 2009). O período de florescência coincide com a redução do fotoperíodo, que em países de origem da espécie pode chegar até 16h, e o aumento das temperaturas (TOMAS; VINCE-PRUE, 1997), o que possibilita o florescimento em dias mais curtos, típicos do outono (BAUERLE, 2019), sem, contudo, permitir que a planta atinja a maturidade vegetativa necessária para o desenvolvimento de ramos laterais e altura adequada para uma produção efetiva. No Brasil, onde o fotoperíodo é inferior a 14 horas, a suplementação luminosa de 2 a 4 horas por dia é necessária até mesmo em dias longos, para evitar o florescimento prematuro (LELES et al., 2023). Em Botucatu-SP, de clima do tipo Aw, com verões quentes e chuvosos (FRANCO et al., 2023), as condições de cobertura de céu podem apontar um desafio ao desenvolvimento das plantas durante períodos de maior temperatura. Em vista da relação complexa entre cobertura de céu, fotoperíodo e crescimento vegetativo, este estudo busca analisar a relação entre a temperatura local e cobertura de céu ao longo de cinco anos em Botucatu-SP, a fim de identificar necessidades específicas de suplementação luminosa.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Utilizou-se a série histórica de 5 anos (2019 a 2023) de dados da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) de Botucatu-São Paulo-Brasil (22°54’S, 48°27’O, 786m), para valores da média diária da Temperatura (°C) e o acumulado da Radiação Global (MJ/m<sup>2</sup>). Utilizando dados diários, foram calculados os valores do coeficiente de transmissividade proposto por Escobedo et al. (2009) (Kt), categorizando as coberturas de céu como:

Tipo I:  $Kt \leq 0,35$ , indicando uma radiação direta praticamente nula e a radiação total é equivalente à radiação difusa (céu nublado);

Tipo II:  $0,35 \leq Kt \leq 0,55$ , em que a radiação total é principalmente composta pela fração difusa, com menor contribuição da radiação direta (céu parcialmente nublado);

Tipo III:  $0,55 \leq Kt \leq 0,65$ , observa-se o inverso do segundo intervalo, caracterizado pela diminuição gradual da radiação difusa (céu parcialmente aberto);

Tipo IV:  $Kt > 0,65$ , indicando que a maior parte da radiação é composta pela radiação direta, com uma fração mínima de radiação difusa, refletindo uma cobertura do céu considerada aberta.

Foram realizadas análises utilizando dados diários de temperatura média e cobertura de céu (Kt), incluindo a frequência de tipos de cobertura e temperatura média, além de uma Análise de Variância (ANOVA). Também foi investigada a distribuição da temperatura em relação a diferentes tipos de cobertura de céu e aos fotoperíodos em Botucatu-SP.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Figura 1 constam dados sobre a frequência de diferentes faixas de Kt ao longo dos últimos cinco anos em Botucatu-SP, com bases médias diárias de temperatura. Cada barra do gráfico representa uma faixa específica de valores de Kt, enquanto a linha indica a contribuição cumulativa de cada faixa. Mais de 60% das condições de cobertura de céu foram classificadas como parcialmente abertas e abertas (tipo III e IV), com escassez de valores de Kt acima de 0,77. Cerca de 40% dos registros indicam condições de céu nublado e parcialmente nublado, sugerindo presença significativa de nuvens. Essa análise destaca a predominância de céu parcialmente aberto e aberto, com poucos valores extremos de Kt.

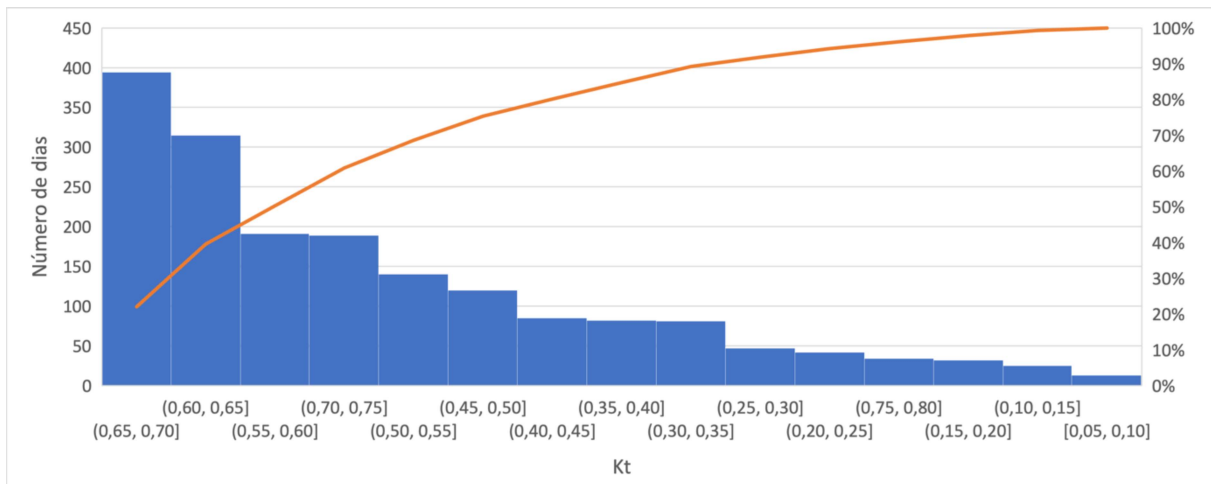


FIGURA 1. Frequência das faixas de coeficiente de transmissividade atmosférica (Kt) em função do número de dias.

Pode-se observar (Figura 2) que diferentes coberturas de céu estão associadas a faixas específicas de temperatura. Considerando, para cada tipo de cobertura de céu, a representação de 50% dos dados, para céu nublado, as temperaturas variam de 15,5 a 18,5 °C; para céu parcialmente nublado, de 18,8 a 21,3 °C; para céu parcialmente aberto, de 20,4 a 22,5 °C; e para céu aberto, de 18,9 a 23,4 °C. É importante considerar as condições ideais para o crescimento vegetativo do lúpulo, conforme indicado por Eriksen et al. (2020), que são temperaturas entre 21 a 39°C, assim como um fotoperíodo de, no mínimo, 15 horas. Considerando que o fotoperíodo em Botucatu não excede 13 horas e que a cidade apresenta condições frequentes de céu nublado e parcialmente nublado, é necessário reavaliar a suplementação luminosa, não apenas para atender à quantidade de horas de luz diária, mas compensar a questão de cobertura de céu em períodos de céu nublado e parcialmente nublado.

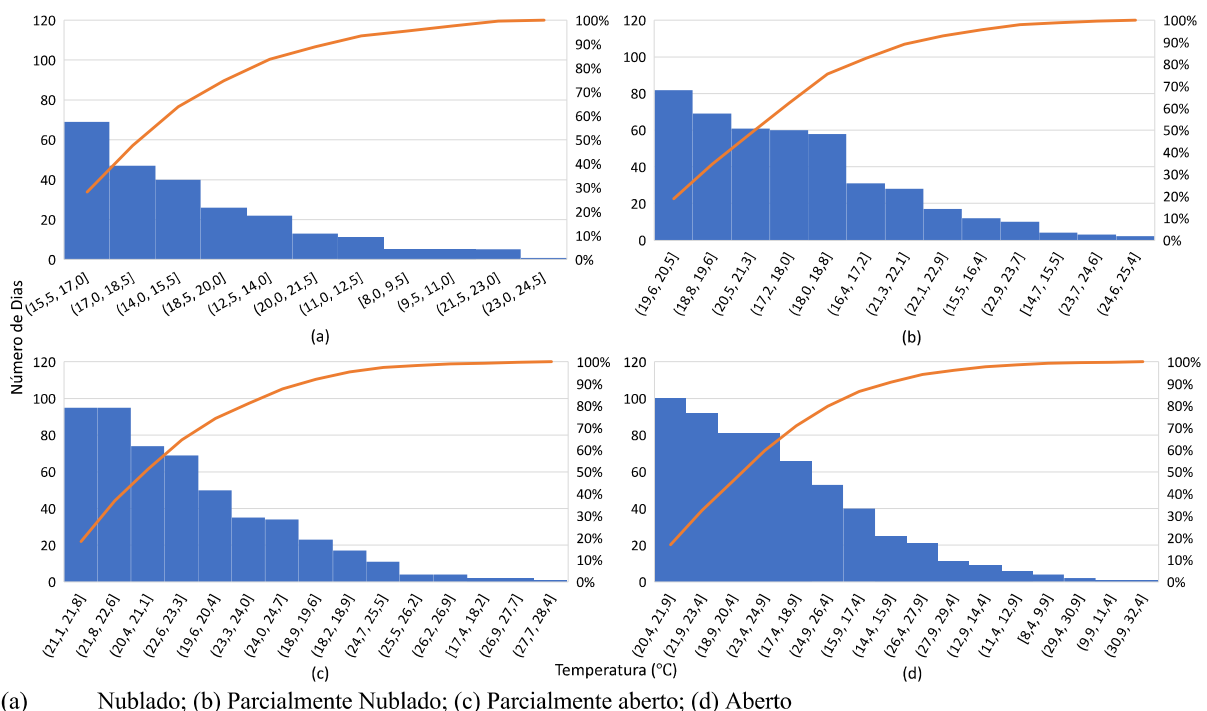


FIGURA 2. Frequência das faixas de temperatura em função de número de dias para os quatro tipos de cobertura de céu

A Análise de Variância (ANOVA) entre tipos de cobertura de céu e temperatura média mostrou que existe associação entre esses fatores, sendo céu parcialmente aberto e aberto as épocas de maiores temperaturas (Tabela 1).

TABELA 1. Médias de temperatura para os tipos I, II e III de classificação de cobertura de céu para o período de 2019 a 2023

Tipo de cobertura de céu	Temperatura média (°C)	Coefficiente de Variação (%)
I – Nublado	16,27	0,17
II – Parcialmente nublado	19,40	0,09
III – Parcialmente aberto	21,86	0,08
IV – Aberto	21,18	0,17

Anova:  $F=1.093,85$  ( $p\text{-value} < 0,0001$ )

**CONCLUSÕES:** Para otimizar o crescimento do lúpulo em Botucatu, é necessário implementar estratégias que combinem suplementação luminosa diferenciada durante diferentes condições de cobertura de céu. Além disso, considerar a influência da radiação difusa, que pode ser mais proeminente em determinados períodos, também é crucial para planejar duração de suplementação luminosa compensatórias.

**AGRADECIMENTOS:** À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo: 2023/01792-0).

## REFERÊNCIAS:

BAUERLE, W.L. (2019) Disentangling photoperiod from hop vernalization and dormancy for global production and speed breeding. *Sci. Rep.* 9:16003

ESCOBEDO, J.F.; GOMES E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, v. 86, p. 299-309, 2009.

ERIKSEN, R. L.; RUTTO, L.; DOMBROWSKI, J. E.; HENNING, J. A. Photo-synthetic activity of six hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars under different temperature treatments. *HortScience*, v. 55, n. 4, p. 403-409, 2020.

FRANCO, J. R.; DAL PAI, E.; CALÇA, M. V. C.; RANIEIRO, 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, Botucatu*, 2023.

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* 2023, 12, 1971. <https://doi.org/10.3390/plants12101971>

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. *Agr. Forest. Meteorol.* 149, 913–919, 2009.

TOMAS, B. & VINCE-PRUE, D. *Photoperiodism in Plants*. 2. ed., Academic Press, San Diego, California, 1997.