



Avaliação de parâmetros agrometeorológicos para cultura do lúpulo (*Humulus lupulus L.*) em ambiente protegido

William Jose DELLABIGLIA *¹, Rodrigo Chaves JORGE ¹, Sergio Augusto RODRIGUES ¹,
Alexandre DAL PAI ¹, Valeria Cristina Rodrigues SARNIGHAUSEN ¹, Victor Crespo de OLIVEIRA ¹

¹ Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, Brasil.
*E-mail: wjdellabiglia@gmail.com

Submetido em: 19/04/2024; Aceito em: 24/02/2025; Publicado em: 29/03/2025.

RESUMO: A agrometeorologia desempenha um papel importante no monitoramento das condições atmosféricas e no planejamento agrícola, fornecendo informações valiosas para os agricultores, ajudando na tomada de decisões sobre manejo. Os objetivos deste estudo consistiram em corroborar para o avanço de métodos agrícolas mais sustentáveis e eficientes na expansão do cultivo do lúpulo no Brasil, ao avaliar parâmetros agrometeorológicos em ambiente protegido, visando entender a influência de variáveis como temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar no desenvolvimento fenológico da cultura e na produtividade de cones. As análises foram realizadas em duas safras (21-22 e 22-23), utilizando a técnica estatística de Análise de Componentes Principais (ACP) para correlacionar variáveis ambientais e estádios fenológicos. Os resultados indicaram maior produtividade na safra 21-22, associada também a temperaturas mais amenas e menor radiação solar durante os estádios críticos de desenvolvimento. A ACP revelou diferenças significativas entre as safras, evidenciando a influência das condições microclimáticas no desempenho da cultura. O estudo reforça a importância do controle das variáveis ambientais em cultivos protegidos, visando otimizar a produtividade, garantir qualidade e promover o uso eficiente dos recursos naturais.

Palavras-chave: produtividade; fenologia; agrometeorologia; Análise de Componentes Principais (ACP).

Evaluation of agrometeorological parameters for the culture of hops (*Humulus lupulus L.*) in a protected environment

ABSTRACT: Agrometeorology plays a crucial role in monitoring atmospheric conditions and informing agricultural planning, providing valuable information to farmers and supporting informed decision-making regarding management practices. The objectives of this study were to contribute to the advancement of more sustainable and efficient agricultural methods for the expansion of hop cultivation in Brazil by evaluating agrometeorological parameters in a protected environment. The study aimed to investigate the impact of temperature, relative humidity, and solar radiation on the crop's phenological development and cone production. Analyses were conducted over two growing seasons (2021-2022 and 2022-2023) using the statistical technique of Principal Component Analysis (PCA) to correlate environmental variables with phenological stages. The results indicated higher productivity in the 2021-2022 season, also associated with milder temperatures and lower solar radiation during critical development stages. PCA revealed significant differences between the seasons, highlighting the influence of microclimatic conditions on crop performance. This study underscores the importance of controlling environmental variables in protected cultivation to maximize productivity, ensure quality, and promote the efficient utilization of natural resources.

Keywords: productivity; phenology; agrometeorology; Principal Component Analysis (PCA).

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do lúpulo (*Humulus lupulus L.*) é bastante difundido nos EUA e Europa, no Brasil a cultura foi recentemente introduzida, e ganhou expressiva importância com o “boom” das cervejarias artesanais, o que resultou em um aumento na demanda por lúpulo, que é predominantemente importado, especialmente dos Estados Unidos e da Alemanha, os maiores produtores mundiais (DODDS, 2017). Porém iniciou-se uma escalada na produção de lúpulo nacional, primeiramente com variedades importadas, e posteriormente com o desenvolvimento de

cultivares brasileiras adaptadas ao clima do país (SOUSA, 2021).

A cultura do lúpulo no Brasil não se restringe apenas à produção de matéria-prima para cervejarias. Muitos produtores têm investido na criação de lúpulos aromáticos e exclusivos, buscando explorar as características únicas do terroir brasileiro. Essa diversidade de lúpulos locais contribui para a criação de cervejas com sabores e aromas distintos, fortalecendo a identidade da cerveja artesanal brasileira (SPÓSITO et al., 2019).

A planta de lúpulo apresenta hábito anual, ou seja cresce, floresce e frutifica durante a primavera, verão e outono. No inverno rigoroso do hemisfério Norte a planta seca e entra em dormência, reiniciando o ciclo na primavera seguinte (BOCQUET et al., 2018). No Brasil, as condições climáticas podem afetar significativamente a cultura, principalmente pela temperatura elevada na primavera e verão, todavia, em função das variações de latitude e climas, se torna possível obter mais de uma safra por ano em virtude do inverno não rigoroso (GONSAGA, 2021).

O cultivo em ambiente protegido associado à utilização de irrigação, oferece maior eficiência do uso da água, diminui as perdas produtivas promovidas por deficiência hídrica, e possibilita o planejamento para múltiplas safras ao longo do ano, aproveitando o outono e o inverno (GUIMARÃES, 2020).

A umidade relativa do ar dentro do ambiente protegido é influenciada pela temperatura, e ambas têm uma relação inversa, ou seja, quando a temperatura aumenta, a umidade relativa tende a diminuir e vice-versa (MALLER et al., 2013; SONSTEBY; HEIDE, 2017). Esse equilíbrio entre temperatura e umidade é crucial para o bem-estar das plantas. Segundo Andriollo (2000), a umidade relativa está diretamente ligada ao equilíbrio hídrico das plantas, sendo que um déficit de umidade pode afetar a evapotranspiração e a capacidade do sistema radicular de absorver água e nutrientes.

Estudos têm explorado diversas alterações nos parâmetros produtivos e na produtividade agrícola em função do controle das variáveis e das modificações microclimáticas em ambiente protegido. O controle adequado da temperatura e umidade relativa do ar pode proporcionar condições ideais para o crescimento das plantas, aumentando a eficiência do cultivo e garantindo melhores resultados na produção de alimentos (STEIDLE NETO et al., 2008; ROMANINI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2017).

A agrometeorologia busca entender e estudar a interação entre as condições atmosféricas e as atividades agrícolas. Ao analisar os aspectos atmosféricos, como temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, vento e precipitação, a agrometeorologia fornece informações valiosas sobre o clima local, condições de crescimento das culturas e previsões meteorológicas específicas para uma determinada região, fornecendo informações relevantes aos agricultores, auxiliando no planejamento, manejo e tomada de decisões relacionadas à produção agrícola (MONTEIRO, 2009).

A relação entre solo-planta-atmosfera é um determinante fator de produtividade das culturas, no entanto a imprevisibilidade dessas variáveis é o fator que mais limita as máximas produtividades das culturas (FRIZZONE et al. 2005; MACEDO et al., 2022). Porém a complexidade do conjunto de dados é grande e a estatística multivariada pode ser utilizada para melhor compreender essas interações, como a análise de componentes principais (ACP).

A ACP é uma técnica estatística que visa reduzir a complexidade de um conjunto de dados, expressando-o por meio de combinações lineares determinadas pelos autovalores e autovetores. Esses parâmetros são calculados a partir da matriz de variância-covariância ou da matriz de correlação, particularmente úteis quando se trata de um grande número de variáveis inter-relacionadas (VICINI et al., 2018).

A ACP oferece uma gama diversificada de aplicações capaz de identificar componentes em várias etapas de processos produtivos, permitindo investigações aprofundadas e a localização de possíveis falhas de controle (VICINI et al., 2018).

Nesse contexto, a ACP desempenha um papel fundamental na agricultura ao lidar com conjuntos de dados agrometeorológicos complexos. Ao aplicar a ACP a variáveis agrometeorológicas, é possível identificar os principais padrões e relações que afetam o comportamento das culturas em diferentes condições ambientais. Essa técnica estatística reduz a dimensionalidade dos dados, mantendo as informações essenciais, permitindo uma representação mais compacta e compreensível.

O objetivo deste estudo consistiu em analisar um conjunto de dados agrometeorológicos frente ao cultivo de matrizes de lúpulo em ambiente protegido, utilizando da técnica estatística ACP, com o intuito em corroborar para o avanço de métodos agrícolas mais sustentáveis e eficientes na expansão do cultivo do lúpulo no Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, composta por uma estrutura metálica do tipo arco, orientação Leste-Oeste, com altura do pé-direito de 4 metros e do arco de 1,2 metros, com 24 metros de comprimento e 7 metros de largura, totalizando uma área de 168m². A mesma é coberta com filme leitoso de polietileno de baixa densidade (PEBD) e as laterais com telas anti-afídeo, na fazenda Lageado, localizada na área experimental do Departamento de Biotecnologia e Bioprocessos da FCA (Faculdade de Ciências Agrônoma) da Unesp (Universidade Estadual Paulista) no campus de Botucatu – SP. As coordenadas são 22° 51' S e 48° 26' O, com altitude de 786m, possuindo clima temperado quente (mesotérmico) úmido de classificação Cwa, segundo Köppen-Geiger.

A variedade de lúpulo utilizada foi a Cascade, considerada aromática, apresentando teores médios de alfa-ácidos (4 a 7%), com transferência às bebidas de notas cítricas e florais, por ser uma variedade bem adaptada à diversas regiões do Estado de São Paulo e do Brasil.

As plantas de lúpulo foram submetidas ao manejo hídrico com irrigação localizada, usado na reposição de 100% da Evapotranspiração de referência (ET_o) da estação meteorológica, segundo o método de Penman-Monteith (HOWELL; EVETT, 2004), com um total de 100 plantas. O método de Penman-Monteith é considerado de referência pois incorpora fatores físicos e fisiológicos que regem os processos de evapotranspiração.

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (01)$$

em que: ET_o = evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹); T = temperatura média do ar a 2 metros de altura (°C) medido por um sensor HC2S3 da Campbell Scientific; u₂ = velocidade do vento a 2 metros de altura (m s⁻¹) medido por um conjunto de 3 canecas da Campbell Scientific; e_s = pressão de saturação de vapor (kPa) e e_a = pressão atual de vapor (kPa), ambos calculados em função da umidade relativa do ar medido por um sensor HC2S3 da Campbell Scientific; Δ = declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹); γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); e G = densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹), neste caso com valor nulo em função

da escolha da partição diária de medidas (ALLEN et al., 1998). Já a radiação líquida na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foi calculada pela soma dos balanços de onda curta (R_{OC}) e de onda longa (R_{OL}) (Equações 2 e 3 respectivamente).

$$R_{OC} = (1 - 0,23)R_G \quad (02)$$

$$R_{OL} = (\sigma T^4)(0,34 - 0,14\sqrt{e_a})(1,35 \frac{R_G}{R_0} - 0,35) \quad (03)$$

em que: 0,23 representa o albedo da superfície, R_G é a radiação solar global diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) medida por um piranômetro Eppley modelo PSP, R_0 é a radiação solar extraterrestre diária calculada (Iqbal, 1983) e σ é a constante de Boltzmann ($4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ dia}^{-1}$). Por prudência, optou-se em não utilizar a evapotranspiração real da cultura, pois ainda não há consolidado na literatura valores de referência para o coeficiente de cultura do lúpulo.

Os dados das variáveis meteorológicas temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento a 2 m e radiação solar global foram fornecidos pela Estação Meteorológica Automática do Lageado do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP/Botucatu), tanto para o ambiente externo quanto para o ambiente interno da estufa (com uma estação meteorológica instalada também no interior do ambiente protegido).

O sistema de irrigação para conduzir a água até a planta foi por gotejamento superficial, sendo um emissor por planta da AgroJet com vazão nominal de 2 L h^{-1} , com turno de rega diário.

O espaçamento utilizado dentro do ambiente protegido, foi de 1,00 m entre linhas de plantio e 0,80 m entre plantas. As plantas foram tutoradas por corda de sisal presa a um arame próximo ao teto do ambiente protegido. O período de coleta dos dados foi de janeiro de 2022 a fevereiro de 2023.

2.1. Estádios fenológicos

Durante o experimento ocorreram duas colheitas de cones de lúpulo, aqui chamadas de safra 1 de outono (podada em 06/01/2022 e colhida em 21/05/2022); e safra 2 de verão (podada em 07/10/2022 e colhida em 07/02/2023).

A cultura do lúpulo apresenta diferentes fases ou estádios fenológicos, na literatura há autores que indicam 8 diferentes fases (FAGHERAZZI, 2020; OLIVEIRA et al., 2020), outros com 9 diferentes fases seguindo a escala fenológica BBCH (BLEIHOLDER et al., 1991). Para melhor associação das diferenças das variáveis agrometeorológicas internas e externas ao ambiente protegido, nesse trabalho optou-se por utilizar uma escala fenológica própria, de simples observação visual de diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, sendo:

SL – Sem Lúpulo; logo após a realização da poda das plantas, com duração de aproximadamente de 23 dias para a safra 1 e 16 dias para a safra 2 (de 0 a 23 DAP – Dias Após a Poda para a safra 1 e 0 a 16 DAP para a safra 2); de 06/01/2022 até 28/01/2022; e de 07/10/2022 até 22/10/2022.

LC – Lúpulo em Crescimento; estágio de desenvolvimento das folhas e formação de ramos laterais, com duração de aproximadamente 28 dias para a safra 1 e 53 dias para a safra 2 (23 a 51 DAP para a safra 1 e 16 a 69 DAP para a safra 2); de 29/01/2022 até 25/02/2022; e de 23/10/2022 até 15/12/2022.

LD – Lúpulo Desenvolvido; floração e surgimento das inflorescências; com duração de aproximadamente 17 dias

para a safra 1 e 15 dias para a safra 2 (51 a 68 DAP para a safra 1 e 69 a 84 DAP para a safra 2); de 26/02/2022 até 15/03/2022; e de 16/12/2022 até 30/12/2022

LDC – Lúpulo Desenvolvido com Cone; desenvolvimento e maturação dos cones até a colheita, com duração de aproximadamente 67 dias para a safra 1 e de 39 dias para a safra 2 (68 a 135 DAP para a safra 1 e 84 a 123 DAP para a safra 2); de 16/03/2022 até 21/05/2022; e de 31/12/2022 até 07/02/2023.

Foram analisados os dados de acúmulo térmico, em graus-dias, para cada estágio fenológico adotado neste trabalho, calculado pelo método de Arnold (1959), adotando a temperatura basal (T_b) de $6,0 \text{ }^\circ\text{C}$, trazida por Spósito et al. (2019)

2.2. Análise de componentes principais (ACP)

A análise de componentes principais foi utilizada para análise dos dados agrometeorológicos dentro e fora do ambiente protegido com o objetivo de identificar quais variáveis estão mais correlacionadas com o desempenho da cultura e assim agrupar as amostras de acordo com seus comportamentos semelhantes.

A coleta das variáveis agrometeorológicas foram obtidas por meio de duas estações, sendo uma a estação meteorológica da fazenda Lageado (denominada estação) e outra estação instalada no interior do ambiente protegido (denominada estufa).

As variáveis agrometeorológicas utilizadas foram: temperatura externa (ao ambiente protegido) (Temp_estação, $^\circ\text{C}$), umidade relativa do ar externa (UR_estação, %), temperatura a 2 metros de altura interna (Temp_2mt, $^\circ\text{C}$), umidade relativa do ar interna a 2 metros (UR_2mt, %), temperatura interna no teto (Temp_Teto_Estufa, $^\circ\text{C}$), umidade relativa do ar interna no teto (UR_Teto_Estufa, %), temperatura de superfície do solo interna (Temp_Superficie_solo, $^\circ\text{C}$), temperatura do solo interna em seis estratos de profundidade (Temp_5cm, Temp_10cm, Temp_20cm, Temp_30cm, Temp_50cm, Temp_100cm, $^\circ\text{C}$), radiação solar externa (Rad_estação, MJ m^{-2}) e interna (Rad_estufa, MJ m^{-2}).

Também foram feitas análises de massas fresca e seca (g) e valores médios de número de cones por planta, em cada planta dentro do ambiente protegido no momento da colheita. Os cones foram contados, pesados e levados à estufa de circulação forçada para secagem à 65°C até atingirem massa constante.

Os dados obtidos foram analisados no ambiente R, que utiliza linguagem de programação estatística para análise de dados, visualização e computação estatística. Para as etapas descritivas, foram utilizados os pacotes ggplot2, dplyr, plyr, reshape2. Para as análises de ACP foram utilizados os pacotes FactoMineR e factoextra (R Core Team, 2022).

3. RESULTADOS

Os valores médios de número de cones por planta; massa fresca e massa seca estão apresentados na Tabela 1. Observa-se maior produtividade na safra 21-22, fato relacionado as temperaturas médias mais amenas durante o estágio fenológicos de Lúpulo Desenvolvido com cone (LDC) em relação à safra 22-23, justamente fase em que a planta estava desenvolvendo as inflorescências (LDC), além de ter sido um estágio de maior duração, fator que também pode ter contribuído para o aumento da massa de cones.

Tabela 1. Médias de produtividade de cones por planta; massa fresca e massa seca de cones e redução percentual para as safras 21-22 e 22-23.

Table 1. Average cone productivity per plant, fresh mass and dry mass of cones, and percentual reduction for the 21-22 and 22-23 harvests.

| | Cones.planta ⁻¹ unidade | Massa fresca g | Massa seca g |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------|
| Safra 21-22 (colheita maio) | 288,54 | 90,97 | 25,47 |
| Safra 22-23 (colheita fevereiro) | 211,57 | 85,81 | 19,29 |
| Redução (%) | 26,68 | 6,00 | 24,26 |

Na safra 22-23 os valores mais elevados de temperatura do ar e do solo, durante o estágio LDC, podem ter promovido a aceleração do processo de maturação das inflorescências e maior degradação das mesmas (Figura 1B).

O resumo das variáveis meteorológicas analisadas nos diferentes estádios de desenvolvimento do lúpulo para as safras 21-22 e 22-23 estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Analisando de modo geral os valores médios das principais variáveis agrometeorológicas estão condizentes com os períodos do ano observados, ou seja, maiores temperaturas do ar e umidade relativa em janeiro e fevereiro.

Na safra 21-22, o estágio LD apresentou os maiores valores médios nas variáveis temperatura do ar, tanto na estação quanto na estufa, assim como na temperatura do solo (Temp_Superficie_solo; Temp_5cm, Temp_10cm; Temp_20cm; Temp_30cm; Temp_50cm e Temp_100cm), porém a umidade relativa do ar da estação e da estufa apresentaram os menores valores entre os estádios de desenvolvimento, não diferindo do estágio LDC para UR_estação (Tabela 2).



Figura 1. Colheita de cones realizada em maio de 2022 (A) e realizada em fevereiro de 2023 (B).

Figure 1. harvest of cones carried out at may 2022 (A) and carried out at February 2023 (B).

Tabela 2. Resumo das variáveis [Média, desvio padrão (entre parêntesis), valores mínimo e máximo (entre colchetes)], em função dos diferentes estádios de desenvolvimento do lúpulo na safra 21-22.

Table 2. Summary of variables [Mean, standard deviation (in parentheses), minimum and maximum values (in brackets)] based on the different hop development stages during the 21-22 harvest.

| Variável | LC | LD | LDC | SL |
|----------------------|---|---|---|---|
| Temp_estacao | 22,74 (3,28) [17,18-31,42] ^b | 24,54 (3,28) [19-32] ^a | 20,68 (4,52) [3,91-30,49] ^c | 22,99 (3,64) [16,44-31,53] ^b |
| UR_estacao | 78,28 (15,71) [38,96-98,6] ^a | 72,74 (15,81) [31,87-98,6] ^b | 73,48 (14,4) [33,08-98,6] ^b | 77,89 (15,1) [39,51-98,6] ^a |
| Temp_2mt | 24,17 (4,78) [16,94-37,14] ^b | 25,92 (4,65) [19,39-37,07] ^a | 21,27 (5,46) [3,8-33,98] ^c | 24,58 (5,05) [16,51-37,27] ^b |
| UR_2mt | 76,66 (18,67) [29,68-100] ^a | 72,38 (18,22) [24,79-98,66] ^b | 75,25 (16,29) [30,63-99,5] ^a | 75,84 (17,78) [29,84-98,83] ^a |
| Temp_Teto_Estufa | 23,81 (5,42) [16,02-39,88] ^c | 25,98 (5,78) [18,46-40,93] ^a | 21,29 (6,56) [2,76-38,04] ^d | 24,74 (6,41) [15,59-41,63] ^b |
| UR_Teto_Estufa | 66,46 (18,26) [21,13-89,48] ^a | 61,81 (18,59) [19,01-88,68] ^b | 65,19 (16,73) [24,45-88,78] ^a | 64,95 (19,32) [19,57-89,16] ^a |
| Temp_Superficie_solo | 26,81 (7,17) [17,24-49,01] ^b | 28,93 (7,11) [20,57-48,27] ^a | 23,25 (6,94) [7,64-47,71] ^c | 26,32 (6,01) [16,96-43,06] ^b |
| Temp_5cm | 27,09 (3,31) [21,64-36] ^b | 29,08 (2,75) [25,16-36,21] ^a | 23,24 (4,16) [11,58-34,82] ^d | 26,48 (3,11) [20,01-33,46] ^c |
| Temp_10cm | 27,25 (2,69) [22,81-33,77] ^b | 29,13 (1,99) [25,87-33,79] ^a | 23,32 (3,77) [12,17-32,68] ^d | 26,77 (2,69) [20,74-32,34] ^c |
| Temp_20cm | 27,53 (1,77) [24,34-30,88] ^b | 29,3 (0,97) [27,19-31,15] ^a | 23,68 (3,17) [14,09-29,97] ^d | 27,07 (2,08) [22,91-30,4] ^c |
| Temp_30cm | 27,39 (1,35) [24,99-29,47] ^b | 29,17 (0,58) [27,71-30,12] ^a | 23,84 (2,85) [15,75-28,9] ^d | 26,77 (1,85) [23,54-29,25] ^c |
| Temp_50cm | 27,33 (1,03) [25,54-28,8] ^b | 29,05 (0,36) [28,05-29,56] ^a | 24,16 (2,58) [17,34-28,43] ^d | 26,5 (1,67) [24-28,79] ^c |
| Temp_100cm | 26,7 (0,46) [26,01-27,54] ^b | 28,04 (0,21) [27,53-28,31] ^a | 24,73 (1,99) [20,21-27,96] ^d | 25,35 (1,03) [24,18-27,14] ^c |
| Rad_estacao | 0,86 (1,19) [0-3,89] ^a | 0,86 (1,19) [0-3,78] ^{ab} | 0,73 (1,03) [0-3,52] ^b | 0,91 (1,21) [0-4,03] ^a |
| Rad_estufa | 0,6 (0,83) [0-2,91] ^a | 0,56 (0,79) [0-2,67] ^a | 0,36 (0,53) [0-2,3] ^b | 0,61 (0,83) [0-2,74] ^a |

Para cada variável, letras diferentes entre as médias indicam diferenças significativas (p<0,05) entre os estádios fenológicos pelo teste Anova complementada pelo teste Tukey.

Ao longo do período da safra 22/23 (Tabela 3), as variáveis temperatura do ar na estacao; temperatura do solo (Temp_Superficie_solo; Temp_5cm, Temp_10cm; Temp_20cm; Temp_30cm e Temp_50cm) e radiação solar (Rad_estacao; Rad_estufa), apresentaram os maiores valores médios no estágio LC (novembro e início de dezembro de 2022), indicativo de um ano atípico, visto que na estação do verão, em geral, a temperatura do ar é mais elevada em

dezembro e janeiro. Esses valores mais elevados nos períodos de maior crescimento vegetativo (estádios LC e LD) da planta, podem ter influenciado a menor produtividade desta safra; e a umidade relativa do ar (UR_estacao; UR_2mt; UR_Teto_Estufa) com valores médios mais elevados no estágio LDC, pode estar correlacionada à maior oxidação visualizada nos cones.

Tabela 3. Resumo das variáveis [Média, desvio padrão (entre parêntesis), valores mínimo e máximo (entre colchetes)], em função dos diferentes estádios de desenvolvimento do lúpulo na safra 22-23.

Table 3. Summary of variables [Mean, standard deviation (in parentheses), minimum and maximum values (in brackets)] based on the different hop development stages during the 22-23 harvest.

| Variável | LC | LD | LDC | SL |
|----------------------|--|---|--|---|
| Temp_estacao | 23,67 (4,86) [12,56-39,29] ^a | 22,03 (3,23) [14,32-30,79] ^b | 22,03 (2,91) [16,02-30,34] ^b | 22,01 (3,06) [17,47-29,9] ^b |
| UR_estacao | 73,01 (18) [26,84-100] ^c | 80,1 (14,38) [40,53-98,7] ^b | 83,35 (12,29) [43,83-98,6] ^a | 75,35 (16,65) [35,25-98,6] ^c |
| Temp_2mt | 22,85 (5,67) [10,9-37,21] ^a | 22,76 (3,61) [14,15-32,59] ^a | 22,8 (3,36) [16,06-32,07] ^a | 22,17 (4,43) [14,67-33,85] ^a |
| UR_2mt | 70,17 (21,26) [18,57-105,53] ^d | 79,65 (15,46) [36,62-99,11] ^b | 83,34 (14,32) [40,01-101,51] ^a | 73,84 (18,86) [27,99-100] ^c |
| Temp_Teto_Estufa | 22,49 (6,39) [9,95-40,12] ^{ab} | 22,69 (4,28) [12,58-34,38] ^{ab} | 22,75 (4,17) [14,84-35,19] ^a | 21,72 (5,05) [13,92-36,27] ^b |
| UR_Teto_Estufa | 60,49 (20,18) [14,97-95,66] ^d | 69,53 (14,3) [29,73-87,54] ^b | 72,41 (13,34) [32,87-89,92] ^a | 63,85 (18,41) [19,19-89,38] ^c |
| Temp_Superficie_solo | 27,88 (8,96) [12,97-52,73] ^a | 25,28 (3,96) [15,48-35,76] ^b | 25,64 (4,09) [17,54-42,67] ^b | 25,56 (7,27) [16,39-47,96] ^b |
| Temp_5cm | 27,65 (4,52) [17,12-38,69] ^a | 25,29 (2,75) [18,14-32,66] ^b | 25,73 (2,67) [19,48-33,9] ^b | 25,23 (3,46) [19,88-35,41] ^b |
| Temp_10cm | 27,59 (3,66) [18,19-35,92] ^a | 25,35 (2,43) [18,97-32,13] ^{bc} | 25,81 (2,33) [20,11-32,36] ^b | 25,22 (2,78) [20,76-32,91] ^c |
| Temp_20cm | 27,51 (2,2) [20,8-31,79] ^a | 25,54 (1,72) [20,98-30,78] ^c | 26,06 (1,62) [21,45-29,71] ^b | 25,12 (1,41) [22,68-28,89] ^d |
| Temp_30cm | 27,08 (1,61) [21,9-29,95] ^a | 25,41 (1,45) [21,23-29,79] ^c | 25,97 (1,37) [21,44-28,42] ^b | 24,66 (0,75) [23,32-26,73] ^d |
| Temp_50cm | 26,68 (1,32) [22,16-28,86] ^a | 25,37 (1,33) [21,49-29,32] ^c | 25,96 (1,3) [21,62-28,31] ^b | 24,23 (0,51) [23,43-25,45] ^d |
| Temp_100cm | 25,27 (0,94) [22,56-26,74] ^b | 24,94 (1,01) [22-27,82] ^c | 25,5 (1,08) [22,04-27,07] ^a | 22,86 (0,51) [21,72-23,55] ^d |
| Rad_estacao | 0,99 (1,3) [0-4,16] ^a | 0,81 (1,15) [0-3,9] ^{ab} | 0,73 (1,06) [0-4,05] ^b | 0,74 (1,06) [0-3,75] ^b |
| Rad_estufa | 0,55 (0,78) [0-2,91] ^a | 0,37 (0,62) [0-2,31] ^{bc} | 0,31 (0,53) [0-2,54] ^c | 0,46 (0,66) [0-2,49] ^{ab} |

Para cada variável, letras diferentes entre as médias (nas linhas) indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os estádios fenológicos pela Anova, complementada pelo teste Tukey.

Os valores de acúmulo térmico, em graus-dias (GD), para os diferentes estádios fenológicos do lúpulo durante as safras 21-22 e 22-23, estão apresentados na Tabela 4. O total acumulado de GD foi semelhante entre as duas safras, com 2275,80 na safra 21-22 e 2219,59 na safra 22-23, indicando que as condições térmicas gerais foram próximas. No entanto, ao analisar os estádios individuais, se observa diferenças maiores entre as safras.

Tabela 4. Valores de acúmulo térmico, em graus-dias (GD), para os estádios fenológicos do lúpulo nas safras 21-22 e 22-23.

Table 4. Thermal accumulation values, in degree-days, for the phenological stages of hops in the 21-22 and 22-23 harvests.

| | Safra 21-22 | Safra 22-23 |
|-----------|-------------|-------------|
| SL | 411,45 | 268,36 |
| LC | 493,80 | 1095,40 |
| LD | 350,79 | 223,84 |
| LDC | 1019,77 | 631,99 |
| Acumulado | 2275,80 | 2219,59 |

Na Figura 2 estão apresentados os valores médios diários de temperatura do ar e os valores de nebulosidade (índice KT) durante as safras 21-22 (A) e 22-23 (B); onde é possível verificar que durante a safra 21-22 (Figura 2) os valores de temperatura foram menores e com menores variações além de menor nebulosidade e maior predominância de radiação solar direta em relação aos da safra 22-23 (Figura 3).

Considerando que as safras ocorreram em diferentes períodos do ano, é esperado que esses valores sejam diferentes, porém mesmo ao comparar o mês de janeiro nota-se diferença nos valores apresentados no ano de 2022 comparado à 2023, fator que pode ter contribuído para a diferença na produtividade de cones entre as safras. A Análise de Componentes Principais (ACP) revelou padrões distintos entre as safras em relação as distribuições dos horários observados em cada estágio de desenvolvimento do lúpulo, porém com comportamento semelhante nas correlações entre as variáveis de estudo destacada nas dimensões Dim1 e

Dim2, conforme observado nos gráficos *Scree Plot* e *Biplot* (Figuras 3 e 4).

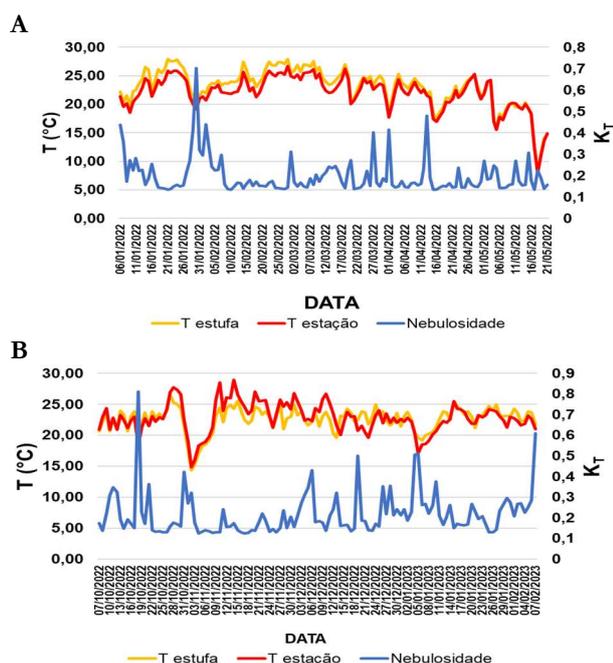


Figura 2. Valores médios diários de temperatura do ar (T °C) e nebulosidade (índice K_T) durante a safra 21-22 (A) e safra 22-23 (B)
Figure 2. Daily average air temperature values (T °C) and cloudiness (K_T index) during the 21-22 harvest (A) and the 22-23 (B).

Na Figura 3A está ilustrado o *Scree plot* com as proporções explicadas por cada dimensão no período da safra 21-22 e o gráfico *Biplot*, ilustrado na Figura 4B, apresenta a distribuição dos horários analisados no período, considerando as fases de desenvolvimento do lúpulo como variáveis suplementares.

Observa-se que a Dimensão 1 (Dim1) explica 61% e a Dimensão 2 (Dim2) explica 27,4%, somadas as duas dimensões (ou componentes) atingem um total de 88,4% de explicação da variação total dos dados da safra 21-22 (Figura 3A).

A Figura 3B, a partir dos vetores de cada variável, é possível caracterizar a dimensão 1 (Dim1) e a dimensão 2 (Dim2), ou seja, a Dim 1 está mais associada com as temperaturas do ar e solo próximo da superfície e a Dimensão 2 caracterizada por um contraste entre umidade relativa do ar (UR_estacao; UR_2mt; UR_Teto_Estufa) e temperatura do solo em maiores profundidades (Temp_20cm; Temp_30cm; Temp_50cm; Temp_100cm) com a radiação solar (Rad_estacao; Rad_estufa).

Ao analisar as elipses de concentração (Figura 3B), observa-se que o estádio SL possui seu centroide próximo ao centro dos eixos, refletindo uma variação equilibrada entre radiação solar interna (Rad_estufa), temperatura do ar (Temp_2mt; Temp_Teto_Estufa) e umidade relativa (UR_2mt; UR_Teto_Estufa). Esse comportamento indica períodos alternados de maior umidade e menor radiação, bem como o inverso, resultando em um ponto médio próximo ao centro dos eixos. Os estádios LC e LD também influenciados por essas variáveis, porém com maior influência da temperatura do solo (Temp_Superficie_solo; Temp_5cm; Temp_10cm; Temp_20cm; Temp_30cm; Temp_50cm; Temp_100cm). O estádio LD apresenta menor amplitude dos dados nas variáveis estudadas e o estádio LDC

foi o que apresentou maior variabilidade dos dados de umidade relativa do ar (UR_estacao; UR_2mt; UR_Teto_Estufa), radiação solar e temperatura do ar (Temp_estacao; Temp_2mt e Temp_Teto_Estufa) e temperatura do solo (Temp_Superficie_solo; Temp_5cm; Temp_10cm; Temp_20cm; Temp_30cm; Temp_50cm; Temp_100cm).

valores de temperatura do ar (Temp_estacao e Estufa), temperatura do solo (todas profundidades), menores valores de umidade relativa do ar (da Estação e da Estufa), com as variáveis radiação solar externa e interna do ambiente protegido destacando-se com grande influência nesse estádio. O estádio LD foi mais influenciado por maior radiação solar e menor umidade do ar e temperatura do solo, enquanto o estádio LDC caracterizou-se por maior umidade relativa do ar (UR_estacao; UR_2mt; UR_Teto_Estufa) e menores valores de radiação solar e temperatura do solo.

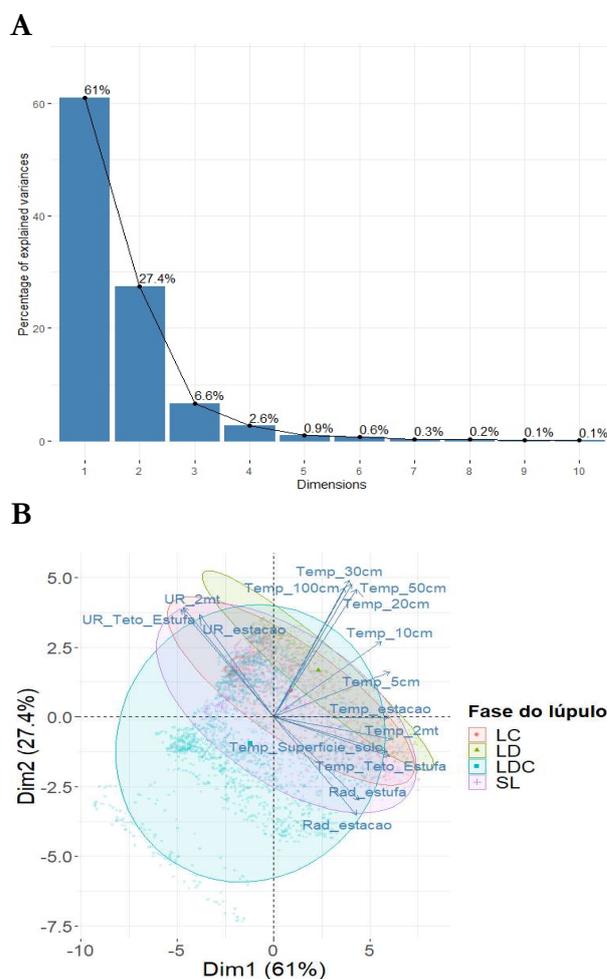


Figura 3. *Scree plot* (A) e *Biplot* das elipses de concentração (95%) (B), no período da safra 21-22 tendo as fases de desenvolvimento do lúpulo como variável suplementar.

Figure 3. *Scree plot* (A) and *Biplot* of concentration ellipses (95%) (B), with the hop development phases as a supplementary variable, in the 21-22 harvest period.

Já para a safra 22-23, os gráficos *Scree plot* e *Biplot*, resultados da ACP com os dados horários deste período, podem ser observados na Figura 4. O percentual de explicação da variabilidade total dos dados, acumulado pelas duas primeiras dimensões na safra 22-23, foi de um pouco inferior ao verificado na safra anterior, ou seja, 83,6% de

explicação. Destaca-se que o comportamento de relacionamento das variáveis na safra 22-23 foi semelhante ao que foi observado na safra anterior, porém o comportamento de distribuição dos horários em cada estágio de desenvolvimento do lúpulo foi bem distinto do que ocorreu na safra 21-22 (Figuras 4A e 4B). Na safra 22-23 o estágio SL foi o mais distinto no período, apresentando menores

Dim2) da ACP, assim como os resultados da análise estatística inferencial, realizada por meio da Anova e complementada pelo teste de Tukey, estão apresentados na Tabela 5. Os estádios de desenvolvimento do lúpulo foram comparados em relação aos valores médios dos escores das dimensões Dim1 e Dim2, considerando separadamente as safras 21-22 e 22-23.

Para o período da safra 21-22, na Dim1 o estágio LD apresentou, em média, o maior escore e estatisticamente diferente dos demais estádios. Esse resultado indica que o estágio de lúpulo em desenvolvimento (LD) apresentou maiores valores de temperatura do ar (Temp_estacao; Temp_2mt; Temp_Teto_Estufa), de temperatura do solo mais superficial (Temp_Superficie_solo; Temp_5cm, Temp_10cm) e radiação solar (Rad_estacao; Rad_estufa), assim como menores valores de umidade relativa do ar (UR_estacao; UR_2mt; UR_Teto_Estufa).

Os estádios SL e LC não apresentaram diferenças significativas entre si. O menor escore foi observado no estágio LDC, representando os menores valores médios de temperaturas do ar (Temp_estacao; Temp_2mt; Temp_Teto_Estufa) e temperatura do solo (Temp_Superficie_solo; Temp_5cm, Temp_10cm; Temp_20cm; Temp_30cm; Temp_50cm; Temp_100cm) registrados no período.

Na Dim2 da safra 21-22, todos os estádios apresentaram diferença significativa entre si, sendo o maior escore do estágio LD, seguido dos estádios LC, SL e LDC, este último destacando-se por apresentar o menor escore médio, evidenciando a influência da baixa umidade relativa do ar (UR_estacao; UR_2mt; UR_Teto_Estufa) e radiação solar um pouco mais elevada.

No período da safra 22-23, os escore médios na Dim1 não apresentaram diferenças significativas entre os estádios LC, LD e LDC, sendo diferente significativamente do estágio LC, único que apresentou escore médio positivo, indicando um período com maiores valores médios de temperatura do ar (Temp_estacao; Temp_2mt; Temp_Teto_Estufa) e temperatura do solo (Temp_Superficie_solo; Temp_5cm, Temp_10cm; Temp_20cm; Temp_30cm; Temp_50cm; Temp_100cm) e os menores valores de umidade do ar. Para os demais estádios as temperaturas do ar e temperatura do solo apresentaram-se mais baixas com valores de umidade relativa do ar mais elevado.

Na Dim2 todos os estádios apresentaram diferença significativa, sendo positivo para os estádios LC e LDC e negativo para os estádios LD e SL, este último o que apresentou o menor escore médio, em função dos maiores valores de radiação dentro do ambiente protegido (Rad_estufa) e menores valores de umidade relativa do ar (UR_estacao; UR_2mt; UR_Teto_Estufa).

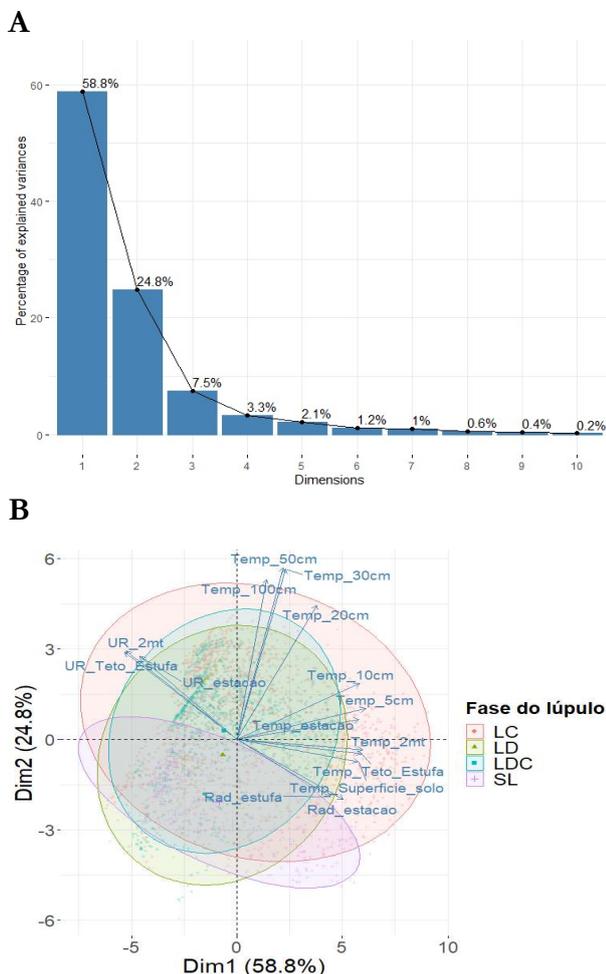


Figura 4. Scree plot (A) e Biplot das elipses de concentração (95%) (B), no período da safra 22-23 tendo as fases de desenvolvimento do lúpulo como variável suplementar

Figure 4. Scree plot (A) and Biplot of concentration ellipses (95%) (B), in the 22-23 harvest period with the hop development phases as a supplementary variable.

Os valores médios (centroides) e desvios padrão de cada estágio de desenvolvimento do lúpulo, obtidos a partir dos escores das duas primeiras componentes (dimensões Dim1 e

Tabela 5. Scores médios e desvio padrão de duas componentes (ou dimensões) por estádios do lúpulo (safras 21-22 e 22-23).

Table 5. Average scores and standard deviation of the two PCs by hop stages (harvest 21-22 and 22-23).

| Estádios | Safras 21-22 | | Safras 22-23 | |
|----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Dim1 | Dim2 | Dim1 | Dim2 |
| LC | 0,89 (2,62) ^b | 0,93 (1,38) ^b | 0,88 (3,39) ^a | 0,56 (1,89) ^a |
| LD | 2,29 (2,44) ^a | 1,66 (1,46) ^a | -0,69 (2,41) ^b | -0,52 (1,75) ^c |
| LDC | -1,21 (2,86) ^c | -0,95 (2,03) ^d | -0,60 (2,24) ^b | 0,28 (1,65) ^b |
| SL | 0,66 (2,74) ^b | 0,32 (1,54) ^c | -0,84 (2,72) ^b | -2,09 (1,16) ^d |
| Anova | p < 0,001 | p < 0,001 | p < 0,001 | p < 0,001 |

Para cada componente principal (PC ou dimensão), letras diferentes entre duas médias das colunas indicam diferenças significativas entre os Estádios pela Anova, complementada pelo teste Tukey (p < 0,05).

4. DISCUSSÃO

Observou-se maior produtividade na safra 21-22, sendo que os valores de massa fresca de cones foram semelhantes aos obtidos por Guimarães (2020), porém inferiores aos obtidos por Nava (2023), uma vez que estudos de produtividade de lúpulo demonstram que diferentes variedades; ambientes de produção e manejo da cultura promovem variabilidade da produção (FORTUNA, 2021).

O lúpulo apresenta melhor desenvolvimento, e maior produtividade de cones em regiões de clima temperado, adaptadas a temperaturas amenas e estações bem definidas, comumente encontrada em países europeus e algumas regiões dos Estados Unidos (CARDOSO et al., 2019).

O estágio SL apresentou uma redução no acúmulo térmico na safra 22-23 em relação à 21-22. O estágio LC, por outro lado, teve um aumento expressivo na safra 22-23, enquanto os estádios LD e LDC registraram menor acúmulo térmico nesse mesmo período.

A exigência térmica expressa a quantidade de energia que uma cultura precisa para completar satisfatoriamente seu ciclo de produção e é dada pela diferença acumulada entre a temperatura média do ar e a temperatura basal (PEDRO JÚNIOR; SENTELHAS, 2003). Ao analisar a Tabela 4, é possível observar que mesmo as safras ocorrendo em diferentes períodos do ano (safra 21-22 de janeiro a maio e, safra 22-23 de outubro a fevereiro), os valores de acúmulo térmico foram semelhantes, porém o acúmulo nos diferentes estádios fenológicos forma distintos. O estágio SL apresentou uma redução no acúmulo térmico na safra 22-23 em relação à 21-22. O estágio LC, por outro lado, teve um aumento expressivo na safra 22-23, enquanto os estádios LD e LDC registraram menor acúmulo térmico nesse mesmo período. Os valores de acúmulo térmico ao considerar a safra foram semelhantes aos 2200 a 2300 GD de acúmulo, obtidos por Barreto; Pilau (2023), avaliando a variedade Cascade, na cidade de Piracicaba/SP, adotando T_b de 5,2 °C e 5,8 °C.

Essas variações sugerem mudanças nas condições climáticas ou na duração dos estádios fenológicos entre as safras, influenciando o acúmulo térmico necessário para cada fase do ciclo do lúpulo.

Analisando a produtividade obtida, os valores de acúmulo térmico e os valores de temperatura e umidade relativa do ar, para as condições deste estudo, a safra 21-22 apresentou maiores valores de produtividade, tendo como prováveis efeitos positivos os fatos de ocorrerem menores valores de temperatura do ar no período de desenvolvimento de cones (LDC), durante o outono, onde a temperatura do ar apresenta valores menores que às temperaturas das estações como verão, época na qual ocorreu o estágio LDC da safra 22-23. Srećec et al. (2008) e Marceddu et al. (2020), verificaram que o acúmulo de graus-dias tem correlação negativa com o acúmulo de alfa-ácidos e que valores elevados de evapotranspiração no período de formação de cones resulta em menor produtividade de cones por planta e redução nos teores de alfa-ácidos, sendo indicativo de que os genótipos de lúpulo mais produtivos também podem apresentar uma resposta mais eficiente às condições do ambiente de crescimento, por terem um desenvolvimento vegetativo rápido e vigoroso.

A ACP é uma técnica de redução de dimensionalidade frequentemente usada em análise de dados e estatísticas para simplificar conjuntos de dados complexos, onde muitas variáveis estão inter-relacionadas e podem ser difíceis de analisar diretamente. Para tanto são geradas novas variáveis

que são obtidas a partir de uma combinação linear das variáveis originais do conjunto de dados, de forma a capturar a maior quantidade possível da variabilidade presente nos dados originais. Essas novas variáveis são chamadas de dimensões ou componentes principais (PC ou Dim).

A elipse de concentração dos dados para cada partição representam 95% dos escores das componentes (ou dimensões) avaliadas, ou seja, 95% dos escores estão no intervalo de valores da elipse, onde é possível observar que na Dimensão 1 as principais variáveis associadas são a temperatura do ar tanto interno a 2m (Temp_2mt), próximo ao teto (Temp_Teto_Estufa) e fora do ambiente protegido (Temp_estacao); a temperatura da superfície do solo (na superfície ou próxima) (Temp_Superficie_solo; Temp_5cm; Temp_10cm) e a radiação (Rad_estacao; Rad_estufa) nas duas safras. Já a Dimensão 2 está mais associada com as variáveis umidade relativa do ar tanto interno a 2m (UR_2mt), próximo ao teto (UR_Teto_Estufa) e fora do ambiente protegido (UR_estacao), temperatura do solo e maiores profundidades e a radiação solar (Rad_estacao; Rad_estufa).

Silva et al. (2022) analisando variáveis climáticas do planalto paulista, observou que a Dimensão 1 foi mais relacionada com irradiação global e temperatura do ar, enquanto que a Dimensão 2 estava relacionada a temperatura mínima do ar e UR. Nogarotto et al. (2020) e Tibulo et al. (2021) analisando variáveis climatológicas observaram grande correlação inversamente proporcional entre temperatura e UR, quando um componente principal era influenciado por temperatura outro era por UR.

Já Gebert et al. (2018) analisando variáveis climatológicas no estado do PR, observaram grande correlação entre variáveis precipitação, temperatura do ar e UR, sendo UR e precipitação uma Dimensão e Temperatura do ar outra Dimensão do estudo e que juntos esses PCs explicaram mais de 92 da variância total dos dados. Prado et al. (2016), observaram que as variáveis eram agrupadas em dois componentes principais um relacionado à temperatura do ar e outro mais correlacionado a UR e precipitação.

Quanto os escores médios das dimensões encontradas, os diferentes estádios de desenvolvimento do lúpulo apresentaram características específicas nas safras 21/22 e 22/23 e responderam de maneiras diferentes às condições meteorológicas, principalmente os estádios LDC e SL. O contraste entre umidade e radiação foi mais elevado no estágio LD na safra 21/22 e no estágio LC na safra 22/23. Da mesma forma, na safra 21/22 o estágio LD apresentou maiores temperaturas do ar e o estágio LC na safra 22/23.

5. CONCLUSÕES

As diferenças médias entre os estádios e observadas em ambiente protegido não apresentou as mesmas características observadas nas variáveis fora deste, indicando que o microclima sofreu influência da presença da cultura.

A PCA auxiliou no entendimento da dinâmica das associações das variáveis, como elas se comportam nos diferentes estádios e que as variáveis mais influenciaram foram a temperatura do ar (independente se a 2m ou próximo ao teto da estrutura), a temperatura do solo mais superficial e o contraste de umidade relativa do ar e radiação solar.

A PCA permitiu concluir que as variáveis temperatura do ar, temperatura do solo nas camadas superficiais, umidade relativa do ar e radiação solar apresentam grande correlação com os estádios de desenvolvimento da cultura do lúpulo.

Destaca-se que as variáveis agrometeorológicas analisadas podem ter influenciado a produtividade de lúpulo. A compreensão dessas diferenças pode ajudar a otimizar as práticas de cultivo e manejo ambiental, ajustando as condições meteorológicas para maximizar o crescimento e a qualidade do lúpulo em cada estágio de seu desenvolvimento.

Assim, alterar época de poda para que o estágio LDC não coincida com períodos de elevados valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar, pode contribuir para aumento de produtividade.

6. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop requirements. FAO Irrig. Drain. Report modeling and application. **Journal of Hydrology**, v. 285, p. 19-40, 1998.
- ANDRIOLLO, J. L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 1, p. 26-33, 2000.
- BLEIHOLDER, H.; KIRFEL, H.; LANGELÜDDEKE, P.; STAUSS, R. Codificação unificada dos estádios fenológicos de culturas e ervas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 1423-1429, 1991.
- BOCQUET, L.; SAHPAZ, S.; HILBERT, J.-L.; RAMBAUD, C.; RIVIÈRE, C. *Humulus lupulus L.*, a very popular beer ingredient and medicinal plant: overview of its phytochemistry, its bioactivity, and its biotechnology. **Phytochemistry Reviews**, v. 17, n. 5, p. 1047-1090, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9584-y>.
- CARDOSO, M. D.; TAVELLA, L. B.; REINEHR, J. Climatic requirements for hop (*Humulus lupulus L.*) cultivation in Brazil. **Ciência Rural**, v. 49, n. 4, e20181039, 2019.
- DODDS, K. **Hops a guide for new growers**. Department of primary industries, Australian Government, 2017. Disponível em: <<http://www.dpi.nsw.gov.au>. Acessado em: 03 jul. 2023.
- FAGHERAZZI, M. M. **Adaptabilidade de cultivares de lúpulo na região do Planalto Sul Catarinense**. 116f. Tese [Doutorado em Produção Vegetal] - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages. 2020.
- FORTUNA, G. C.; **Desempenho agrônomo e fitoquímico de variedades de lúpulo produzidas em condições tropicais sob manejo orgânico e convencional**. 2021. Dissertação [Mestrado em Agronomia] - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP. 2021.
- GEBERT, D. M. P.; KIST, A.; VIRGENS FILHO, J. S. das. Determinação de regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná por meio de técnicas de análise multivariada e geoestatística. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 374-388, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.60406>
- GONSAGA, R. F. **Desenvolvimento de híbridos de lúpulo adaptados às condições tropicais**. 113f. Tese [Doutorado em Agronomia] - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2021.
- GUIMARÃES, J. de J. **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**. 105f. Dissertação [Mestrado em Agronomia] - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.
- HOWELL, T. A.; EVETT S. R. **The Penman-Monteith method**. Washington, DC: USDA-Agricultural Research Service, Conservation & Production Research Laboratory, 2004. 14p.
- MACEDO, V. H. M.; LAGE FILHO, N. M.; CUNHA A. M. Q.; LOPES, M. N.; SILVA, R. G.; CUTRIM JUNIOR, J. A. A.; FATURI, C.; CÂNDIDO, M. J. D.; RÊGO, A. C. do. Agrometeorological and agronomic characterization of *Megathyrus* Grasses Cultivated in Tropical Humid and Semi-Arid Conditions: a multivariate approach. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. 1, e809377, 2022. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2022.809377>
- MARCEDDU, R.; CARRUBBA, A.; SARNO, M. Cultivation trials of hop (*Humulus lupulus L.*) in semi-arid environments. **Heliyon**, v. 6, n. 10, e05114, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05114>
- MONTEIRO, J. E. B. A.(Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Inmet, 2009. 530p.
- NAVA, K. G. **Aspectos agrônômicos em resposta à adubação orgânica e caracterização química de cones de lúpulo (*Humulus lupulus*) produzido no sul do Brasil**. 110f. Dissertação [Mestrado em Ciências Agrárias e Agroecossistemas] - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2023.
- NOGAROTTO, D. C.; DE LIMA, M. R. G.; POZZA, S. A.. Análise de componentes principais para verificar relação entre variáveis meteorológicas e a concentração de MP10. **Holos**, v. 1, p. 1-17, 2020. <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2020.8649>
- OLIVEIRA, G. M. de; SANTIAGO, E. J. P.; LEITÃO, M. de M. V. B. R.; ROCHA, R. de C.; GONÇALVES, I. S.; SILVA, R. R. da. Estimativa da evapotranspiração de referência para ambiente protegido. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 21-30, 2017. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p21-30>
- PEDRO-JÚNIOR, M. J.; SENTELHAS, P. C. Clima e produção. In: POMMER, C. V. (Ed.) **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003. p. 63-107.
- PRADO, B. Q. de M.; FERNANDES, H. R.; ARAÚJO, T. G.; LAIA, G. A.; BIASE, N. G. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 407-413, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016147040>
- R Core Team. **R. A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022 Disponível em:<<https://www.R-project.org/>>.
- SREČEC, S.; KVATERNJAK, I.; KAUČIĆ, D.; ŠPOLJAR, A.; ERHATIĆ, R. Influence of climatic conditions on accumulation of α -acids in hop clones. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 73, n. 3, p. 161-166, 2008.
- SILVA, M. B. P.; SOUZA, V. C.; CREMASCO, C. P.; CALÇA, M. V. C.; SANTOS, C. M.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; RODRIGUES, S. A.; ESCOBEDO, J. F. Estimated reference evapotranspiration of the Paulista Plateau through multiple regressions with missing data estimated via main component analysis. **Research, Society and**

- Development**, v. 11, n. 8, e43211831120, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.31120>
- SONSTEBY, A.; HEIDE, O. M. Flowering performance and yield of established and recent strawberry cultivars (Fragaria x ananassa) as affected by raising temperature and photoperiod. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 92, p. 367–375, 2017. <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2017.1283970>
- SOUSA, F. G. G. de. **Determinação de evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo do lúpulo em diferentes texturas de solo**. 2021. 103 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP. 2021.
- SPÓSITO, M. B. ISMAEL, R.V.; BARBOSA, C.M.A.; TAGLIAFERRO, A.L. A cultura do lúpulo. Piracicaba, SP: Esalq - Divisão de Biblioteca, 2019. 81 p. (**Série Produtor Rural**, 68).
- TIBULO, C.; ZANINI, R. R.; FERRAZ, S. E. T.; BOIASKI, N. T.; TIBULO, V. de C. A RELAÇÃO ENTRE A POLUIÇÃO DO AR E AS PRINCIPAIS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS NO MUNICÍPIO DE CANOAS-RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 26, 2021. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.65560>.
- VICINI, L.; SOUZA, A. M.; MORALES, F. E. C.; SOUZA, F. M. Técnicas multivariadas exploratórias: teorias e aplicações no software estatística. **Santa Maria**: UFSM, 2018.

Agradecimentos: Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia - Irrigação e Drenagem; ao Departamento de Bioprocessos da FCA/UNESP Botucatu/SP; e a CAPES pelo suporte financeiro (Código de Financiamento 001).

Contribuição dos autores: W.J.D.: conceitualização, metodologia, coleta dos dados, escrita e análise; R.C.J.: análise estatística; S.A.R.: conceitualização, metodologia, validação e supervisão; A.D.P.: recursos financeiros, conceitualização, validação e supervisão; V.C.R.S.: conceitualização, validação e supervisão; V.C.O.: coleta dos dados, análise estatística e validação.

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente via e-mail.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.



Copyright: © 2024 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons **Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)** license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).