UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

JOÃO DE JESUS GUIMARÃES

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

Botucatu

2020

JOÃO DE JESUS GUIMARÃES

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

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Irrigação e Drenagem

Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román

Coorientadora: Valéria Cristina Rodrigues Sarnighausen

Botucatu

2020

G963c

Guimarães, João de Jesus

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 / João de Jesus Guimarães. -- Botucatu, 2020

105 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu

Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román

Coorientadora: Valéria Cristina Rodrigues Sarnighausen

1. Lúpulo (Humulus lupulus L.). 2. Irrigação. 3. Qualidade da água. 4. Potencial hidrogeniônico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: 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

AUTOR: JOÃO DE JESUS GUIMARÃES
ORIENTADOR: RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN
COORIENTADORA: VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. LEANDRO CAIXETA SALOMÃO
Engenharia Agrícola / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Botucatu, 20 de fevereiro de 2020.

Aos meus queridos pais,

João e Maria,

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e capacidade de caminhar com sabedoria, humildade, e por permitir que meu sonho pudesse ser realizado.

Aos meus pais, João de Deus Guimarães e Maria de Jesus Pereira, por serem a minha maior fonte de motivação e inspiração, pelos valiosos ensinamentos, dos quais, permitiram que eu me tornasse quem eu sou hoje. Por acreditar que eu fosse capaz de realizar os meus objetivos.

Aos meus irmãos Deusmar de Sá Guimarães, Claudenei Pereira Guimarães, Rosemeire Aparecida Guimarães e Daniel de Jesus Guimarães, pelo apoio e incentivo nessa fase tão importante da minha vida.

Ao meu eterno e querido Tio Joaquim de Sá Guimarães, pelos prazerosos momentos que passamos juntos. Pelas palavras de incentivo, mas em destaque, uma das nossas ultimas conversas, da qual, me dizia que: onde quer que ele estivesse não tinha dúvidas de que eu seria um doutor. Por isso, me dediquei ao máximo nessa fase e não medirei esforços para conquistar o título de doutor e lhe deixar orgulhoso. Saudades eternas!

A toda minha família, por ser o meu melhor refúgio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román, por ter aceitado ser meu orientador, pela paciência, confiança e por todo o conhecimento que foi transmitido ao longo desses anos.

A minha coorientadora, Prof. Dra. Valéria Cristina Rodrigues Sarnighausen, pela oportunidade, orientação, paciência e pelos conhecimentos transmitidos.

A minha noiva Mara Lúcia Cruz de Souza, pela paciência, compreensão, companheirismo e, principalmente, por sempre acreditar em mim e não deixar que eu desanimasse perante as dificuldades. Enfim, por todo carinho e amor.

Aos amigos de longa data, Amanda Maria de Almeida, Diego Henrique da Silva e Miguel Henrique de Almeida da Silva pela amizade verdadeira, carinho, respeito, companheirismo e pela confiança depositada. Que Deus os ilumine sempre!

Aos meus amigos Ícaro Monteiro Galvão, Osvaldir Feliciano dos Santos, Alberto Mario Arroyo Avilez pelo companheirismo, ajuda e acima de tudo, pela amizade.

Aos meus amigos e colegas de grupo de pesquisa, Francielly Guieiro Gomes de Sousa, Renan Lima de Souza, Patrick Sarnighausen e Leidiane Portugal pela ajuda e apoio no desenvolvimento da minha pesquisa. Foram fundamentais!

Aos professores Alexandre Dal Pai, Sérgio Augusto Rodrigues, Fernando Broetto e Gustavo Rocha Castro pelo suporte no desenvolvimento da minha pesquisa.

Ao Grupo de Pesquisa: Lúpulo, Aplicações e Manejo – LUPAM pelo apoio e auxilio.

Aos técnicos de laboratório, José Israel Ramos e Gilberto Winckler pela prontidão, suporte e apoio nos momentos que precisei.

Ao corpo docente do Programa de Pós Graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem pelo conhecimento transmitido, os quais possibilitaram a minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio e pela bolsa de estudos.

A todos aqueles, que diretamente ou indiretamente participaram dessa etapa.

“Trabalhe duro para ter a vida que você sonha, mas não se esqueça de ser feliz com a vida que você tem.”

Fernando Estevam

RESUMO

O cultivo de lúpulo (*Humulus Lupulus* L) exige um adequado fornecimento de água, principalmente na fase de desenvolvimento, o qual envolve a formação e crescimento dos ramos laterais, florescimento, formação das inflorescências e maturação dos cones. Sabendo da importância do fornecimento de água na fase de desenvolvimento, a irrigação passou a ser utilizada nas áreas de cultivo desde o século XIX. No contexto da irrigação, a qualidade da água é um fator importante e que, quando não se dá a devida atenção, pode causar efeitos deletérios no sistema de irrigação, solo e na planta. O potencial hidrogeniônico (pH) é um dos parâmetros que caracteriza a qualidade de água para irrigação podendo influenciar na microbiologia do solo e no processo de intercâmbio de cátions (solo para a solução e vice-versa). Em virtude da importância da irrigação e dos poucos estudos relacionados ao pH da água da irrigação da cultura do lúpulo, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da irrigação com diferentes faixas de pH da água sob o desenvolvimento agronômico do lúpulo, variedade Cascade, cultivado em ambiente protegido. A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação no Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia – DBB da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Campus de Botucatu. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizados (DIC) com três tratamentos e dez repetições. Os tratamentos foram constituídos por três faixas de pH da água, sendo: T1 – pH 6 a 6,5, T2 – pH 6,5 a 7 e T3 – 7 a 7,5. Para a obtenção dos tratamentos, soluções de 0,1 mol L^{-1} de hidróxido de sódio (NaOH) e ácido fosfórico (H_3PO_4) foram utilizadas para elevar e baixar, respectivamente, o pH da água. As características avaliadas foram: altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), biomassa da planta (massa fresca e seca da folha e do caule), índices de crescimento, trocas gasosas, teor nutricional no tecido foliar vegetal, perda de eletrólitos, teor de pigmentos foliares, produtividade e teor de alfa e beta-ácidos. As irrigações com as diferentes faixas de pH promoveram a elevação do pH da solução do solo, influenciaram na disponibilidade, absorção e acúmulo de nutrientes no tecido vegetal foliar e na taxa fotossintética. Consequentemente, afetaram a AP e a produção de matéria seca do caule. Não houve efeito das faixas de pH da água sob o DC, AF, massa fresca e seca da folha, índices de crescimento, perda de eletrólitos e teor de pigmentos foliares. Contudo, houve diferença significativa entre as épocas de avaliação para a perda de eletrólitos, clorofila *b* e carotenoides totais. A produtividade de cones por planta foi significativamente afetada pelas faixas de pH. Os teores de alfa e beta-ácidos reduziram com o aumento das faixas de pH da água. A faixa de pH da água 6,5 a 7 promoveu a maior disponibilidade de potássio, melhor taxa fotossintética, maiores AP, produção de massa fresca e seca do caule e maior produtividade de cones por planta. Os teores de alfa e beta-ácidos apresentaram maiores valores nas plantas do tratamento 1.

Palavras-chave: Cascade. Qualidade da água. Potencial hidrogeniônico. Ambiente protegido.

ABSTRACT

Hop cultivation (*Humulus Lupulus* L) requires a adequate supply of water, especially at the developmental stage, or as involved in lateral branch formation and growth, flowering, inflorescence formation and cone maturation. Knowing the importance of water supply in the development phase, irrigation has been used in cultivated areas since the 19th century. In the context of irrigation, water quality for irrigation is an important factor which, when not given due attention, can have deleterious effects on the irrigation system, soil and the plant. The hydrogen potential (pH) of water is one of the parameters that characterizes the quality of water for irrigation and can influence soil microbiology and the cation exchange process (soil for solution and vice versa). Due to the importance of irrigation and the few studies related to the water pH of the irrigation of the hop culture, this work had as objective evaluate the effect of irrigation with different water pH ranges on the agronomic development of hops, Cascade variety cultivated in protected environment. The research was conducted in a greenhouse at the Department of Bioprocesses and Biotechnology – DBB of the Faculty of Agronomic Sciences - FCA/UNESP, Botucatu Campus. The statistical design used was the completely randomized design (CRD) with three treatments and ten replications. The treatments consisted of three water pH ranges: T1 - pH 6 to 6.5, T2 - pH 6.5 to 7 and T3 - 7 to 7.5. To obtain the treatments, 0,1 mol L^{-1} solutions of sodium hydroxide (NaOH) and phosphoric acid (H_3PO_4) were used to increase and decrease the water pH, respectively. The characteristics evaluated were: plant height (AP), stem diameter (DC), leaf area (AF), plant biomass (fresh and leaf and stem mass), growth indices, gas exchange, nutritional content in plant leaf tissue, electrolyte loss, leaf pigment content, productivity and alpha and beta acid content. Irrigations with different pH ranges promote elevation of soil solution pH, influenced the availability, absorption and accumulation of nutrients in leaf tissue and in photosynthetic rates. Consequently, affected the AP and the stem dry matter production. There was no effect of water pH under DC, FA, fresh and dry leaf mass, growth rates, electrolyte loss and leaf pigment content. However, there was a significant difference between the evaluation times for electrolyte loss, chlorophyll *b* and total carotenoids. Cone productivity per plant was significantly affected by water pH. Alpha and beta-acid levels decreased with increasing water pH. The pH water range of 6.5 to 7 promoted higher potassium availability, better photosynthetic rate, higher AP, fresh and dry stem production and higher yield per plant. Alpha and beta-acid contents were higher in treatment plants 1.

Keywords: Cascade. Water quality. Hydrogen potential. Protected environment

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Design experimental 34

Figura 2 - Layout do sistema de irrigação e seus componentes 38

Figura 3 - Distribuição dos coletores ao longo das linhas laterais.....39

Figura 4 - Curva de retenção de água do solo 41

Figura 5 – Leitura dos tensiômetros de punção (A) tensímetro digital (B).....42

Figura 6 - Estação meteorológica com os sensores (A) e o interior juntamente com o Datalogger (B). 44

Figura 7 - Adubação de cobertura com ureia aplicada junto ao solo (A) e boro aplicado via foliar (B) 47

Figura 8 - Covas e adubação de plantio (A) e transplantio das mudas de lúpulo Cascade (B) 47

Figura 9- Sistema de condução (A) e condução das plantas de lúpulo pelo sistema (B) 51

Figura 10 - Cones de lúpulo prontos para serem colhidos 52

Figura 11 - Curva de absorção de luz pelas plantas de lúpulo.....56

Figura 12 - Temperatura máxima e mínima do ar no interior da casa de vegetação durante a condução da pesquisa.....60

Figura 13 - Umidade relativa máxima e mínima do ar no interior da casa de vegetação durante a condução da pesquisa.....61

Figura 14 - Déficit de pressão de vapor no interior da casa de vegetação durante a condução da pesquisa.....62

Figura 15 - Lâminas de irrigação aplicadas ao longo da condução da pesquisa (A) e lâmina total aplicada para cada tratamento (B) 63

Figura 16 - pH da solução do solo em função das diferentes faixas de pH da água.66

Figura 17 - Teor de Potássio (K) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água 69

Figura 18 - Teor de Cálcio (Ca) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água 70

Figura 19 - Teor de Boro (B) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água 71

Figura 20 - Teor de Cobre (Cu) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água..... 72

Figura 21 - Teor de Manganês (Mn) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água..... 73

Figura 22 - (A) Fotossíntese (A), (B) condutância estomática (gs), (C) taxa de transpiração (E), e (D) eficiência de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água 75

Figura 23 - Altura de planta (AP) de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água 77

Figura 24 - Massa fresca do caule (A) e massa seca do caule (B) das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água de irrigação 79

Figura 25 - Produtividade de cones por planta em função das diferentes faixas de pH da água..... 85

Figura 26 - Concentrações de alfa (A) e beta-ácidos (B) nos cones de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água..... 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos físicos do solo na camada de 0 a 0,20 m de profundidade – São Manuel - SP.....32

Tabela 2 - Atributos químicos de um Latossolo Vermelho Eutrófico na camada de 0 a 0,20 m de profundidade – São Manuel - SP.....32

Tabela 3 - Características da água utilizada para a irrigação – Botucatu - SP.....34

Tabela 4 - Elementos constituintes do hidróxido de sódio (NaOH) – Botucatu - SP .35

Tabela 5 - Elementos constituintes do ácido fosfórico (H_3PO_4) – Botucatu - SP.....36

Tabela 6 - Parâmetros da equação de Van Genuchten – Botucatu - SP 41

Tabela 7 - Valores de pH inicial e final da água e o volume da solução de hidróxido de sódio (NaOH) utilizado para elevar o pH da água durante a condução da pesquisa - Botucatu - SP.....49

Tabela 8 - Valores de pH diário, corrigido e o volume da solução de ácido fosfórico (H_3PO_4) utilizada para baixar o pH da água durante a condução da pesquisa - Botucatu - SP 50

Tabela 9 - Uniformidade do sistema de irrigação localizada por gotejamento em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP.....65

Tabela 10 - Média, desvio padrão e os resultados da análise variância (ANOVA) para o teor nutricional presente no tecido vegetal das folhas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP 68

Tabela 11 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) das trocas gasosas das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água – Botucatu – SP 74

Tabela 12 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) para altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF) das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP 77

Tabela 13 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros de biomassa das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água de irrigação - Botucatu - SP79

Tabela 14 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) para os índices de crescimento das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP 80

Tabela 15 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de perfil via análise de variância (ANOVA) univariada para medidas repetidas para a perda de eletrólitos das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP 81

Tabela 16 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de perfil via análise de variância (ANOVA) univariada para medidas repetidas para a clorofila a das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP 82

Tabela 17 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de perfil via análise de variância (ANOVA) univariada para medidas repetidas para a clorofila b das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP 83

Tabela 18 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de perfil via análise de variância (ANOVA) univariada para medidas repetidas para os carotenóides totais das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP 84

Tabela 19 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) para a produtividade (Prod.) por planta de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP 85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21
2 REVISÃO DE LITERATURA 23
2.1 O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) 23
2.2 Uso do lúpulo 25
2.3 Demanda hídrica das plantas de lúpulo 27
2.4 Histórico e uso da irrigação no cultivo de lúpulo 28
2.5 pH da água de irrigação 29
3 MATERIAL E MÉTODOS 31
3.1 Localização da área experimental 31
3.2 Características da casa de vegetação 31
3.3 Clima 31
3.4 Tipo e características do solo 31
3.5 Correção do solo 33
3.6 Características da água 33
3.7 Delineamento experimental 34
3.8 Tratamentos 35
3.8.1 Solução de hidróxido de sódio (NaOH) 35
3.8.2 Solução de ácido fosfórico (H_3PO_4) 36
3.9 Variedade de lúpulo utilizada 37
3.10 Sistema de irrigação 37
3.11 Uniformidade do sistema de irrigação 38
3.12 Curva de retenção de água do solo 40
3.13 Manejo da irrigação com base no teor de água do solo 41
3.14 Monitoramento do pH da solução do solo 43
3.15 Monitoramento das variáveis climáticas 44
3.16 Condução da pesquisa 45
3.16.1 Mudas de lúpulo 45
3.16.2 Adubação 46
3.16.2.1 Adubação para o transplantio 46
3.16.2.2 Adubação de cobertura 46
3.16.3 Transplantio das mudas de lúpulo 47
3.16.4 Início dos tratamentos 48
3.16.5 Sistema de condução para as plantas 50
3.16.6 Controle fitossanitário 51
3.16.7 Colheita 52
3.17 Parâmetros avaliados 52
3.18 Análise estatística 59
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 60
4.1 Variáveis climáticas no interior da casa de vegetação 60
4.1.1 Temperatura do ar 60
4.1.2 Umidade relativa do ar 61

4.1.3 Déficit de pressão de vapor 62
4.2 Lâminas de irrigação aplicada 63
4.3 Uniformidade do sistema de irrigação 64
4.4 pH da solução do solo 65
4.5 Teor nutricional no tecido foliar vegetal 67
4.5.1 Macronutrientes 68
4.5.1.1 Potássio (K) 68
4.5.1.2 Cálcio (Ca) 69
4.5.2 Micronutrientes 71
4.5.2.1 Boro (B) 71
4.5.2.2 Cobre (Cu) 72
4.5.2.3 Manganês (Mn) 73
4.6 Trocas gasosas 74
4.7 Parâmetros de crescimento 76
4.8 Parâmetros de biomassa 78
4.9 Índices de crescimento 80
4.10 Perda de eletrólitos 81
4.11 Teor de pigmentos foliares 82
4.11.1 Clorofila *a* 82
4.11.2 Clorofila *b* 82
4.11.3 Carotenóides totais 83
4.12 Produtividade 84
4.13 Compostos 86
5 CONCLUSÕES 88
REFERÊNCIAS 89

1 INTRODUÇÃO

O lúpulo (*Humulus lupulus* L) é uma planta nativa das regiões de clima temperado do hemisfério norte. Essa planta pertence à ordem Urticales e Rosales, a familia Cannabaceae e aos gêneros *Cannabis e Humulus* (ALONSO-ESTEBANAN et al., 2019; GETTY, 2019; KOBUS-CISOWSKA et al., 2019).

A espécie *H. lupulus* L. representa a maior parte do lúpulo produzido no mundo, devido a sua aptidão para a indústria alimentícia e farmacêutica (SPÓSITO et al., 2019). Essa espécie é caracterizada como uma planta perene, herbácea, dióica, anemófila, rizomatosa, trepadeira que produz inflorescências (SILVA, 2015; PEARSON; SMITH; CHEN, 2016; ROSSINI et al., 2016; DURELLO et al., 2019).

As plantas femininas formam flores (inflorescências), que quando maduras são denominadas de cones. Na base dos cones, existem glândulas de lupulina que produzem compostos, como resinas (alfa e beta-ácidos) e óleos essenciais (compostos aromáticos), os quais são considerados importante matéria-prima para a indústria alimentícia e farmacêutica.

Os compostos quando utilizados na indústria alimentícia, promovem cor, aroma e sabor à cerveja (ALMAGUER et al., 2014; PINTO, 2018; RETTBERG; BIENDL; GARBE, 2018; SILVA, 2019). Já na indústria farmacêutica, atuam como antioxidantes, antibacterianos e agentes antivirais para tratamento de doenças crônicas, pulmonares, insônia, ansiedade, enxaqueca, câncer de próstata, além de atenuar os efeitos da menopausa nas mulheres (ABRAM et al., 2015; KARABIN et al., 2015; AGHAMIRI et al., 2016; GARGANI et al., 2017; INUI et al., 2017; BOCQUET et al., 2018; SPÓSITO et al., 2019).

As maiores área cultivadas com lúpulo no mundo estão nos Estados Unidos e Alemanha. A área cultivada nos Estados Unidos é de aproximadamente 23 mil hectares, com uma produção de 49 mil toneladas. Já na Alemanha, a área cultivada gira em torno de 20 mil hectares, produzindo aproximadamente 42 mil toneladas (IHGC, 2019).

Para o cultivo de lúpulo é fundamental que ocorra o fornecimento de água, seja ela através da chuva ou da irrigação. Na primavera quando ocorrem as brotações, a demanda por água é baixa, mas no verão quando ocorre a fase de desenvolvimento e formação das inflorescências a demanda aumenta, sendo nessa fase a mais importante para o suprimento de água. Desta forma, regiões que apresentam chuvas

anuais moderadas ou baixas, principalmente no verão, o uso da irrigação se torna fundamental (DODDS, 2017; GRAF et al., 2019).

A qualidade da água de irrigação é um fator que deve ser considerado na irrigação das culturas, dentre elas, o lúpulo. Um dos parâmetros que envolvem a qualidade de água é o potencial hidrogeniônico (pH), o qual é caracterizado pelo equilíbrio entre os íons H^+ e OH^- no meio. Esse equilibro indicará a condição de acidez (menor que 7), neutralidade (igual a 7) ou alcalinidade (maior que 7) da água (SILVA et al., 2011; MENEGHELLI et al., 2016).

O pH do solo e da sua solução é um parâmetro que está diretamente relacionado com a concentração de íons, absorção e disponibilidade de nutrientes pelas plantas (CARMO, 2014). Contudo, pouco se sabe a respeito do pH da água, bem como da sua influência ou não no crescimento e desenvolvimento das plantas de lúpulo.

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo principal, avaliar o efeito da água de irrigação com diferentes faixas de pH nas características agronômicas do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), cultivado em ambiente protegido na região de Botucatu – SP.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O lúpulo (*Humulus lupulus* L.)

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta originaria das regiões de clima temperado do hemisfério norte e que pertence à ordem Urticales e Rosales, a familia Cannabaceae e aos gêneros *Cannabis e Humulus* (SMALL, 1978; NEVE, 1991; TROMMER, 2014; MONTEIRO, 2016; DODDS, 2017; GARGANI et al., 2017; ALONSO-ESTEBANAN et al., 2019; GETTY, 2019; KOBUS-CISOWSKA et al., 2019).

O gênero *Humulus* se divide em três espécies, *H. yunnanensis*, *H. Japonicus e H. lupulus* L (GARGANI et al., 2017; SPÓSITO et al., 2019). As plantas desse gênero são caracterizadas como perenes, herbáceas, dióicas, anemófilas, rizomatosas, trepadeiras dextrogiras e que produzem inflorescências (SILVA, 2015; PEARSON; SMITH; CHEN, 2016; ROSSINI et al., 2016; BERNERT, 2018; DURELLO et al., 2019).

O número de variedades de lúpulo cultivadas no mundo é de aproximadamente 200 (SILVA, 2019; GETTY, 2019). Dentre elas, Spósito et al. (2019) destaca a existência de pelo menos 70 variedades importantes no cenário atual, como por exemplo, a Cascade. Tal variedade se destaca dentre as outras como uma das mais resistentes a míldio, além de ser a mais utilizada nos Estados Unidos para a fabricação de cervejas de característica artesanal.

As plantas de lúpulo são constituídas por uma parte aérea renovável, formada por ramos herbáceos (principal e laterais), folhas, inflorescências masculinas ou femininas (característica dada as plantas dióicas), além de um sistema radicular perene, composto por raízes e rizomas (ALVES, 2018; SPÓSITO et al., 2019).

Os ramos herbáceos do lúpulo possuem pêlos que ajudam na aderência e fixação quando estão se entrelaçando no sentido horário por um meio suporte (NEVE, 1991; MARCOS et al., 2011). O ramo principal surge de brotações provenientes das gemas situadas abaixo da superfície do solo (DE KEUKELEIRE et al., 1999; DODDS, 2017), crescem no sentido vertical podendo atingir uma altura de até 10 metros (BOCQUET et al., 2018) e quando as plantas estão bem desenvolvidas, tornam-se grossos e peludos caracterizando-se como caule (MARCOS et al., 2011). Já os ramos laterais, surgem das estipulas (nós) presentes na extensão do ramo principal, sendo esses responsáveis pela formação das inflorescências (DODDS, 2017; SPÓSITO et al., 2019). Com isso, é fundamental ter um sistema vertical de condução e tutoramento dos ramos (MARCOS et al., 2011; AQUINO et al., 2019).

As folhas possuem coloração esverdeada com três a sete lóbulos, pecíolos curtos e longos, glândulas responsáveis pela produção de resinas e óleos, 400 estômatos por mm² em média, margens que podem ser serrilhadas ou lobulares, ásperas e através dos nós presentes nos ramos (principal e laterais) formam-se pares, uma oposta a outra (NEVE, 1991; MARCOS et al., 2011; RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015; VIANA; GIL, 2018; SPÓSITO et al., 2019).

As inflorescências masculinas são formadas em panículas com diversas flores organizadas em cachos, e apresentam um perianto de cinco sépalas, cinco anteras que são responsáveis pela produção de pólen, além de glândulas de lupulina que podem variar de 10 a 15 por inflorescência. (MARCOS et al., 2011; BOCQUET et al., 2018; GETTY, 2019). As femininas se desenvolvem nos ramos laterais e são constituídas por um eixo central denominado de ráquis e por estruturas estipulares semelhantes a pétalas, mas botanicamente são conhecidas como brácteas e bractéolas (ALMAGUER et al., 2014; RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015; SPÓSITO et al., 2019).

No ráquis ocorre o surgimento de um par de flores, as quais são envolvidas e protegidas pelas brácteas e bractéolas até a formação da inflorescência (NEVE, 1991). Com o desenvolvimento das flores, formação e maturação das inflorescências ocorre o aumento do ráquis, consequentemente, das flores, brácteas e bractéolas, resultando na formação dos estróbilos, conhecidos comercialmente como cones (NEVE, 1991; OLIVEIRA, 2016; GETTY, 2019).

Na base das bractéolas ocorre a formação de tricomas glandulares denominadas de glândulas de lupulina (ALMAGUER et al., 2014; PATZAK et al., 2015). De acordo com Spósito et al. (2019) cada inflorescência pode conter aproximadamente 10.000 glândulas de lupulina. Estas glândulas secretam um pó de coloração amarela denominado de lupulina, a partir disso, sintetizam e armazenam compostos voláteis, como resinas (alfa e beta-ácidos), óleos essenciais (compostos aromáticos), polifenóis, proteínas, lipídios, aminoácidos, celulose e ceras (SCHÖNBERGER & KOSTELECKY, 2011; FARAG; WESSJOHANN, 2013; ROBERTS, 2016; TEGHTMEYER, 2018; AQUINO et al., 2019; ALMEIDA, 2019; OCVIRKA et al., 2019; SILVA, 2019). Além disso, ocorre a biossintetização de alguns metabólitos secundários, contendo compostos fenólicos, terpenóides, flavonóides prenilados e acilfloroglucinóis prenilados (BOCQUET et al., 2018; FORTESCHI et al., 2019; YAN et al., 2019).

O sistema radicular das plantas de lúpulo é constituído por raízes e rizomas. As raízes são responsáveis pela fixação da planta junto ao solo, absorção de água e nutrientes, as quais podem crescer aproximadamente 2,5 metros no sentido vertical e até 3 metros no sentido horizontal (DE KEUKELEIRE et al., 1999; NAGLIČ; CVEJIĆ; PINTAR, 2017; SPÓSITO et al., 2019). Neve (1991) destaca que as raízes horizontais são ramificadas, resistentes e concentram-se em maior proporção na profundidade de 20 a 30 cm, enquanto as raízes verticais são irregulares, inchadas e sensíveis, podendo ser facilmente quebradas. Neste sentido, solos arenosos, profundos, com boa capacidade de drenagem e boa fertilidade se tornam importantes para o crescimento e desenvolvimento das raízes, bem como, da cultura (NEVE, 1991; RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015; DODDS, 2017).

Para Dodds (2017) o rizoma é um órgão fundamental para as plantas de lúpulo, pois ele é responsável pelo armazenamento de substâncias como carboidratos que irão alimentar e garantir a sobrevivência da planta durante o período de dormência. Os rizomas se desenvolvem próximo da superfície do solo e são caracterizados como caules subterrâneos, pois possuem gemas, as quais formaram novos brotos e raízes, (GETTY, 2019; SPÓSITO et al., 2019).

O ciclo de vida das plantas de lúpulo pode chegar a 20 anos, dependendo das condições de cultivo (DE KEUKELEIRE et al.,1999). Contudo, Marcos et al. (2011) afirmam que em média, este ciclo é de aproximadamente 15 anos. Essa diferença é resultado de vários fatores que podem envolver o cultivo, dentre eles a variedade, clima, manejo etc.

2.2 Uso do lúpulo

O lúpulo tem sido utilizado na indústria alimentícia e cosmética, além da utilização na medicina, culinária e na alimentação animal (MAHAFEE; PETHYBRIDGE; GENT, 2009; KARABIN et al., 2016; ALMEIDA, 2019).

Na indústria alimentícia, 97% do lúpulo produzido no mundo é destinado sobretudo à fabricação de cerveja, pois as resinas (alfa e beta-ácidos), os polifenóis e os óleos essenciais proporcionam cor, amargor, aroma e sabor, além de atuar como conservante natural e estabilizador da espuma (SCHÖNBERGER; KOSTELECKY, 2011; ALMAGUER et al., 2014; FILHO; GASTONI, 2016; OCVIRK; GRDADOLNIK;

KOŠIR, 2016; PEARSON; SMITH; CHEN, 2016; PINTO, 2018; RETTBERG; BIENDL; GARBE, 2018; SILVA, 2019).

A indústria cosmética utiliza o extrato da flor, do cone e do caule. O óleo extraído dos cones de lúpulo é utilizado para a fabricação de cremes de pele, condicionadores de cabelo, sprays capilares, sabonetes e fragrâncias para o banho de espuma, ambos com ação antimicrobiana e antitranspirante (LILLAN; BECKER, 2016).

O lúpulo é utilizado há mais de 2000 anos na medicina, atuando como antioxidante, antibacteriano, antimicrobiano, agentes antivirais e quimioterápicos (KOETTER; BIENDL, 2010; PRADO, 2014; SILVA, 2019) promovendo efeito benéfico à saúde. Na antiguidade os indígenas, curandeiros e os chineses utilizavam folhas, ramos, cones e o extrato de lúpulo como medicamento natural para uma grande quantidade de doenças e distúrbios (KARABIN et al., 2015).

A literatura cita o uso do lúpulo no tratamento de doenças cardiovasculares, hanseníase, lepra, bromidrose, ansiedade, insônia, enxaqueca, obesidade, tuberculose, diabetes do tipo 2, esclerose arterial, menopausa, câncer de próstata, prisão de ventre e até mesmo na purificação do sangue (DELMULLE et al., 2006; BOHR et al., 2008; ZANOLI; ZAVATTI, 2008; VAN CLEEMPUT et al., 2009; ERKKOLA et al., 2010; ABRAM et al., 2015; LIU et al., 2015; KARABIN et al., 2015; AGHAMIRI et al., 2016; INUI et al., 2017; ALMEIDA, 2019; SPOSITO et al., 2019).

Na culinária, são utilizados os brotos das raízes e as folhas jovens. Os brotos são conhecidos como “aspargos de lúpulo”, já que apresentam um gosto amargo e se assemelha ao aspargo. As folhas são utilizadas na forma de saladas e ambos podem ser consumidos *in natura* e/ou cozidos (DE KEUKELEIRE et al., 1999; MAHAFEE; PETHYBRIDGE; GENT, 2009; ALMAGUER et al., 2014).

O lúpulo tem sido utilizado na alimentação de aves, bovinos e caprinos, em virtude da ação antibiótica dos beta-ácidos. Em estudo realizado por Cornelison et al. (2006) utilizando as flores de lúpulo na alimentação das aves foi observado efeito benéfico no crescimento das mesmas. Bortoluzzi et al. (2014) avaliaram o desempenho e a saúde intestinal de frangos de corte em função da suplementação alimentar com lúpulo. Os autores observaram que a suplementação proporcionou melhor desempenho produtivo dos frangos, além de melhorar a saúde intestinal das aves.

Na alimentação dos bovinos, Schmidt et al. (2006) e Wang et al. (2010) observaram que a suplementação com lúpulo proporcionou a inibição de microrganismos, uma maior eficiência na fermentação ruminal, digestão de amido e

na taxa de crescimento de novilhos no período de acabamento. Nos caprinos, o lúpulo promoveu a degradação de aminoácidos e reduziu a produção de amônia por bactérias ruminais das cabras (FLYTHE et al., 2015).

2.3 Demanda hídrica das plantas de lúpulo

A demanda hídrica está relacionada com a transpiração, biomassa da planta e a área foliar, ou seja, conforme a planta se desenvolve, a biomassa e a área foliar aumentam e, consequentemente a transpiração também, resultando numa maior demanda de água (MIDDLETON, 1963; JACKSON; SIEGLE; SCOGGINS, 2019).

Na estação da primavera a demanda por água é relativamente pequena, pois nessa estação ocorrem as brotações. Em contrapartida, no fim da primavera e início do verão quando se inicia a fase de desenvolvimento, bem como o crescimento dos ramos e folhas, floração e formação das inflorescências (cones) a demanda hídrica é maior (FRIC et al., 1991; NEVE, 1991; SPÓSITO et al., 2019), pois nessa fase ocorre a produção e o acúmulo dos compostos (DE KEUKELEIRE et al., 2007). A ausência de água nessa fase poderá afetar significativamente a produção, bem como a qualidade dos cones (HNILICKOVA; NOVAK, 2000; FANDIÑO et al., 2015).

Em regiões de clima árido, a demanda hidrica do lúpulo é de 700 a 800 mm de água durante a fase de desenvolvimento (BEATSON et al., 2009; TURNER et al., 2011). No Vale Yakima, estado de Washington (EUA), a maioria das cultivares de lúpulo utiliza cerca de 610 a 712 mm de água por ano durante a fase de crescimento; na Espanha, região de Galícia a demanda pode ser de 396 a 557 mm e em Portugal são necessários aproximadamente, 500 mm de água por ciclo (EVANS, 2003; MARCOS et al., 2011; FANDIÑO et al., 2015; RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015). É pertinente destacar que a demanda hídrica depende de alguns fatores, como o clima da região (precipitação, temperatura e umidade) e da variedade de lúpulo.

O lúpulo é uma planta com raízes que podem atingir uma profundidade de até 2,5 metros. Com isso, as raízes podem utilizar 50% de água na camada de 0 a 0,60 metros, 37% na camada de 0,60 a 1,30 metros, 10% na camada de 1,30 a 1,80 metros e 3% na camada de 1,80 a 2,40 metros de profundidade (MIDDLETON, 1963; DE KEUKELEIRE et al., 1999; FANDIÑO et al., 2015; NAGLIČ; CVEJIĆ; PINTAR, 2017).

Dodds (2017) ressalta a importância de se manter a camada de 0 a 0,60 metros de profundidade sempre úmida, visto que, nessa camada ocorre a maior concentração das raízes. Entretanto, a umidade excessiva nessa camada pode danificar e até mesmo apodrecer as raízes e os rizomas (EVANS, 2003).

2.4 Histórico e uso da irrigação no cultivo de lúpulo

A irrigação na cultura do lúpulo se iniciou no século XIX após a visita do conde polonês Strzelecki à América do Norte e à Tasmânia. Na ocasião, o conde mostrou e incentivou os produtores a utilizarem o método de irrigação por superfície, especificamente a irrigação por sulco, visto que nessa mesma época muitos produtores de lúpulo tiveram grandes perdas na produção devido à seca na estação do verão (NEVE, 1991). A partir disso, a irrigação por sulco passou a ser utilizada sobretudo no Vale Yakima, estado de Washington nos Estados Unidos e em Xinjiang na China. Em ambas as regiões, a água utilizada para a irrigação era proveniente do derretimento da neve (NEVE, 1991).

O uso da irrigação por sulco no século XIX foi muito importante, principalmente nos momentos de seca, pois foi capaz de suprir a demanda hídrica. Entretanto, na metade do século XX a irrigação por superfície foi substituída pela irrigação por aspersão (aspersores instalados nos mourões do sistema de condução e tutoramento) e pela localizada por gotejamento (FRIC et al., 1991; DODDS, 2017).

O sistema irrigação por aspersão foi bastante utilizado na Inglaterra durante o século XX. Neve (1991) relata que produtores ingleses obtiveram resultados significativos quanto a produção de cones após utilizarem a irrigação por aspersão, porém os custos com mão de obra aumentaram devido a montagem e locomoção do sistema. No século XXI, a irrigação por aspersão não tem sido utilizada com frequência, pois a umidade excessiva nas folhas aumenta a umidade relativa do ar, implicando no aparecimento de doenças como míldio e oídio (MARCOS et al., 2011; TURNER et al., 2011; DODDS, 2017).

A irrigação localizada por gotejamento foi utilizada em muitas áreas de cultivo de lúpulo na Europa durante o século XX. Os produtores nessa época a consideraram como a mais eficiente para tal cultura (WAMPLE; FARRAR, 1983; NEVE, 1991). Com isso, passou a ser a mais utilizada no cultivo do lúpulo no século XXI (BEATSON et

al., 2009; RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015; NAKAWUKA et al., 2017; ALVES, 2018; GRAF et al., 2019), sobretudo nas regiões que apresentam chuvas anuais moderadas e/ou baixas, entre as estações da primavera e verão, como é o caso do Vale Yakima, nos Estados Unidos e Hallertau, na Alemanha (DODDS, 2017; GRAF et al., 2019).

Todavia, é fundamental que os produtores de lúpulo realizem o manejo da irrigação com base nos atributos de solo (monitoramento da tensão de água no solo ou umidade no solo), planta (índices de estresse ou potencial hídrico foliar) ou atmosfera (monitoramento da evapotranspiração) para suprir a demanda da cultura nos momentos críticos e manter o solo em próximo da capacidade de campo (CC), principalmente na camada de 0 a 0,60 metros de profundidade (NAGLIČ; CVEJIĆ; PINTAR, 2016; DODDS, 2017; GU et al., 2017; NAKAWUKA et al., 2017).

Os principais benefícios da irrigação localizada por gotejamento no cultivo do lúpulo são economia de água, possibilidade de aplicar fertilizantes junto à água de irrigação (fertirrigação), redução de perdas de água e do uso de mão de obra, maior produtividade de água, melhoria nos processos fisiológicos e bioquímicos, incremento da produção de matéria seca, cones e no teor de alfa e beta-ácidos (WAMPLE; FARRAR, 1983; MARCOS et al., 2011; NAKAWUKA, 2013; NAGLIČ; CVEJIĆ; PINTAR, 2016; NAKAWUKA et al., 2017; ALVES, 2018).

2.5 pH da água de irrigação

A água é um recurso fundamental para a sobrevivência e manutenção dos seres vivos. Esse recurso natural é utilizado para a navegação, lazer, abastecimento urbano e rural, nos processos industriais, produção de energia e nas atividades agrícolas, principalmente para a irrigação (ANA, 2019). Além disso, é caracterizado quimicamente como uma estrutura molecular formada por dois átomos de hidrogênio (H) e um de oxigênio (O), cujo estado físico mais comum é o liquido (BRASIL, 2014).

O potencial hidrogeniônico (pH) caracteriza-se pelo equilíbrio entre íons H^+ e OH^- no meio, como por exemplo, a água. Esse equilibro indicará três condições para a água: ácida, neutra e alcalina. Ademais, o pH é medido em uma escala logarítmica que pode variar de 0 a 14, sendo as faixas de 0 a 7 (ácido), 7 (neutro) e de 7 a 14 (alcalino) (RODRIGUES et al., 2009; SILVA et al., 2011; MENEGHELLI et al., 2016).

Os fatores que podem influenciar, e assim determinar o valor do pH da água podem ser divididos em naturais e antropogênicos. Os naturais são caracterizados sem a interferência humana, como a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese. Já os fatores antropogênicos, relacionados à interferência humana, são a disposição de despejos domésticos, industriais e agroindustriais (VON SPERLING, 2005).

Em termos de irrigação, é importante que o irrigante conheça o pH da água, visto que, este parâmetro está diretamente relacionado com a concentração de outras substâncias presentes na água, como por exemplo, carbonatos, bicarbonatos e sódio. Além disso, pode influenciar na microbiologia do solo, danificar o sistema radicular das plantas e comprometer o processo de intercâmbio de cátions na superfície da fase sólida do solo em direção à solução do solo e vice-versa (GÓMEZ LUCAS; PEDREÑO, 1992; PATERNIANI; PINTO, 2001; ALMEIDA, 2010).

Diante disso, destaca-se que poucos são os estudos e/ou informações à respeito do pH da água da irrigação para o cultivo de lúpulo. Em decorrência a isso e também, pela importância da irrigação nessa cultura, a realização de estudos para a determinação de uma faixa ideal de pH da água para a irrigação do lúpulo torna-se de suma importância no cenário atual.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

A pesquisa foi desenvolvida em casa de vegetação, no Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia – DBB da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu com coordenadas geográficas 22º 51’ 03” S de latitude, 48º 25’ 37” O de longitude e 796 metros de altitude.

3.2 Características da casa de vegetação

A casa de vegetação é 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 168 m². A mesma é coberta com filme leitoso de polietileno de baixa densidade (PEBD) e as laterais com telas anti-afídeo.

3.3 Clima

O clima do local é classificado por Köppen-Geiger como temperado quente (mesotérmico) úmido do tipo Cfa, com verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média anual do ar é de 20,3°C, sendo julho o mês mais frio do ano (17,1°C) e janeiro o mais quente (22°C). A precipitação média anual é de 1428,4 mm, sendo janeiro o mês com maior precipitação (246,2 mm) e agosto com a menor (36,1 mm) (CUNHA; MARTINS, 2009).

3.4 Tipo e características do solo

O solo foi coletado na Fazenda Experimental São Manuel/UNESP, São Manuel, Estado de São Paulo, Brasil. Para determinação das características físicas e químicas do solo, foi coletada uma amostra na profundidade de 0 a 0.20 m, seca ao ar por 48 horas e peneirada em peneira de 2 mm de espessura. Em seguida foi encaminhada

para o Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu. Os atributos físicos e químicos do solo foram determinados utilizando as metodologias propostas pela EMBRAPA (2011) e por Raij et al. (2001), os resultados são observados nas Tabelas 1 e 2. De acordo com Santos et al. (2018), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico de textura franco arenosa.

Tabela 1 - Atributos físicos do solo na camada de 0 a 0,20 m de profundidade – São Manuel - SP

Areia			Argila	Silte	Umidade	Textura do solo
Fina	Grossa	Total				
----------	----------	g/kg	----------	----------	%	
---	---	774	177	49	---	Franco arenosa

Fonte: Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas, Câmpus de Botucatu – UNESP.

Tabela 2 - Atributos químicos de um Latossolo Vermelho Eutrófico na camada de 0 a 0,20 m de profundidade – São Manuel - SP

Atributo	Valor
pH em $CaCl_2$	4,7
M.O (g/dm^{-3})	6
P_{resina} (mg/dm^{-3})	8
Al^{3+} ($mmolc/dm^{-3}$)	1
H+Al ($mmolc/dm^{-3}$)	18
K ($mmolc/dm^{-3}$)	1,2
Ca ($mmolc/dm^{-3}$)	18
Mg ($mmolc/dm^{-3}$)	5
SB ($mmolc/dm^{-3}$)	24
CTC ($mmolc/dm^{-3}$)	42
V (%)	57
S (mg/dm^{-3})	22
B (mg/dm^{-3})	0,29
Cu (mg/dm^{-3})	1,3
Fe (mg/dm^{-3})	7
Mn (mg/dm^{-3})	1,7
Zn (mg/dm^{-3})	0,6

Sendo: pH – potencial hidrogeniônico; MO – matéria orgânica; P_{resina} – extrator de fósforo; Al^{3+} - acidez trocável; H+Al – acidez potencial; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca cátions; V – saturação por bases; S – enxofre; B – boro; Cu – cobre; Fe – ferro; Mn – manganês e Zn – zinco.

Fonte: Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas, Câmpus de Botucatu – UNESP.

3.5 Correção do solo

A correção do solo (calagem) foi realizada de acordo com a saturação por bases obtida na análise dos atributos químicos (Tabela 2). Para a cultura do lúpulo a saturação por bases deve estar em 70% (SPÓSITO et al., 2019). Conforme apresentado na Tabela 2, a saturação por bases estava em 57%, além disso, o solo apresentou baixo teor de magnésio (Mg). Com base nessas informações, foi utilizado calcário dolomítico, cujo poder relativo de neutralização do alumínio (PRNT) foi de 96%.

A calagem foi realizada trinta dias antes do transplantio das mudas de lúpulo, mantendo-se os vasos sempre úmidos para propiciar uma melhor reação. A concentração de calcário incorporada ao solo para elevar a saturação por bases foi de 568,7 kg/ha e foi calculada através da Equação 1.

$$\mu_c = \frac{CTC \times (V_2 - V_1) \times F}{10 \times PRNT} \quad (1)$$

Em que μ_C é a concentração de calcário (kg/ha), CTC é a capacidade de troca catiônica (mmolc/dm^{-3}), V_2 é a saturação de bases desejada (%), V_1 é a saturação de bases que o solo se encontra (%), F é o fator de incorporação (1,0 – incorporação na profundidade de 0,20 m; 1,5 – incorporação na profundidade de 0,30 m e 2,0 – incorporação na profundidade de 0,40 m) e PRNT é o poder relativo de neutralização.

3.6 Características da água

A água utilizada para a irrigação é proveniente de um poço escavado. Para a obtenção das características da água utilizada nessa pesquisa, foi coletada uma amostra de 1 L. Para tal, foi utilizado um recipiente de plástico, o mesmo foi devidamente etiquetado e encaminhado para o Laboratório de Qualidade de Água da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu. As características da água foram determinadas utilizando os métodos propostos pela APHA (2012). Os resultados obtidos na análise estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Características da água utilizada para a irrigação – Botucatu - SP

Parâmetros	Valores	Método	Referência
pH	6.14	Eletrometric Method	4500B
CE	49 µS/cm a 25 °C	Laboratory Method	2510B
N_{total}	Aus.	Persulfate Digestion Method	4500C
P_{total}	15 mg/L	Persulfate Method	4500-P E
K_{total}	Aus.	Potassium Permanganate spectrophometric Method	4500B
TDS	25 ppm	Medidor digital	----
SST	0.0002 g/L	Total Solids Dried at 103-105ºC	2540D
Turbidez	----	Nephelometric Method	2130B

Sendo: pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; N_{total} – nitrogênio total; P_{total} – fósforo total; K_{total} – potássio total; TDS – sólidos totais dissolvidos; SST – sólidos suspensos totais e Turbidez.

Fonte: Laboratório de Qualidade de Água da Faculdade de Ciências Agronômicas, Câmpus de Botucatu.

3.7 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizados (DIC) com três tratamentos (T) e dez repetições (R) conforme ilustrado na Figura 1. Os tratamentos foram constituídos por três faixas de potencial hidrogeniônico (pH) da água para a irrigação, sendo: Tratamento 1 (T1) – 6,0 a 6,5; Tratamento 2 (T2) – 6,5 a 7,0 e Tratamento 3 (T3) – 7,0 a 7,5.

Figura 1 - Design experimental

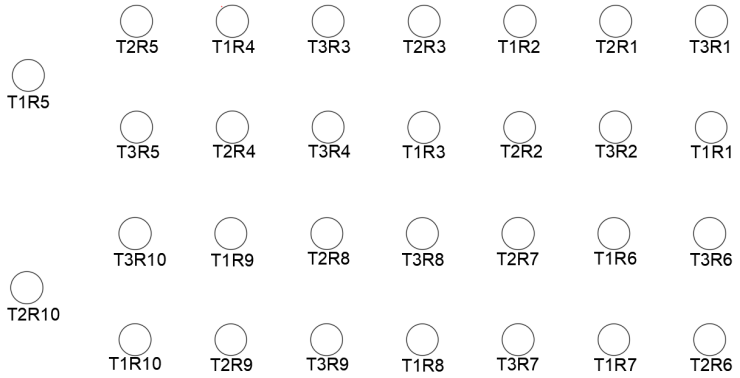


Foto: João de Jesus Guimarães - 2020

3.8 Tratamentos

Para a obtenção dos tratamentos, foram utilizadas soluções de 0,1 mol L^{-1} de hidróxido de sódio (NaOH) em micro pérolas para elevar o pH e ácido fosfórico (H_3PO_4) com 85% de concentração e densidade de 1,6 g mL^{-1} para baixar o pH.

3.8.1 Solução de hidróxido de sódio (NaOH)

Inicialmente foi necessário encontrar o número de átomos dos elementos que constituem o hidróxido de sódio (NaOH), os mesmos estão apresentados na Tabela 4. Para isso, foi utilizado uma tabela periódica dos elementos.

Tabela 4 - Elementos constituintes do hidróxido de sódio (NaOH) – Botucatu - SP

Elemento	N° de átomos	Z
Na	1	23
O	1	16
H	1	1

Sendo: Na – sódio; O – oxigênio; H – hidrogênio e Z – número atômico.

Após encontrar os números atômicos, determinou-se a massa molar do soluto (MM) (Equação 2) e a massa do soluto (m) (Equação 3), sendo 40 g mol^{-1} e 4 g de NaOH, respectivamente.

$$MM = (Z_1 \times n° \text{ molécula}_1) + (Z_2 \times n° \text{ molécula}_2) + (Z_3 \times n° \text{ molécula}_3) \quad (2)$$

Em que MM é a massa molar do soluto (g mol^{-1}), Z é o número atômico (adimensional) e N° molécula é o número de moléculas (adimensional).

$$m = M \times MM \times V \quad (3)$$

Em que m é a massa do soluto (g), M é a molaridade (mol L^{-1}), MM é a massa molar do soluto (g mol^{-1}) e V é o volume da solução (L).

Por fim, foi adicionado em um recipiente de plástico: um litro de água da mesma fonte utilizada na irrigação (poço artesiano) e 4 g de hidróxido de sódio (NaOH), obtendo-se a solução.

3.8.2 Solução de ácido fosfórico (H_3PO_4)

Com base nas informações (concentração de 85% de H_3PO_4 e da densidade de 1,6 g mL^{-1}) calculou-se a massa do soluto (m). Para o cálculo, foram utilizados os passos 1 e 2. O volume (V) estabelecido para a solução foi de 1000 mL.

Passo 1: Massa do soluto (m) foi de 1600 g de H_3PO_4.

$$\frac{\text{Densidade (g/mL)}}{\text{m}} = \frac{\text{mL}}{\text{V}}$$

Passo 2: Massa do soluto real (m_{real}) foi de 1360 g de H_3PO_4.

$$\frac{\text{m}}{\text{m}_{real}} = \frac{100\%}{\text{Concentração de } H_3PO_4}$$

Após o cálculo da massa do soluto real (m_{real}) encontrou-se o número de átomos dos elementos constituintes do ácido fosfórico (H_3PO_4), os quais estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Elementos constituintes do ácido fosfórico (H_3PO_4) – Botucatu - SP

Elemento	N° de átomos	Z
H	3	1
P	1	31
O	4	16

Sendo: H – hidrogênio; P – fósforo; O – Oxigênio e Z – número atômico.

Em seguida, foram calculadas a massa molar do soluto (MM) (Equação 2), molaridade (M) (Equação 4) e a diluição da solução (V1) (Equação 5), obtendo-se os seguintes resultados: MM= 98 g mol^{-1}, M= 13,87 mol L^{-1} e V1= 7,2 mL. Para a solução final foi diluído 7,2 mL em 1000 mL de água.

$$M = \frac{m}{MM \times V} \quad (4)$$

Em que M é a molaridade (mol L^{-1}), m é a massa do soluto (g), MM é a massa molar do soluto (g mol^{-1}) e V é o volume da solução (L).

$$C1 \times V1 = C2 \times V2 \quad (5)$$

Em que C1 é a concentração molar inicial (mol L^{-1}), V1 é o volume para a diluição (mL), C2 é a concentração molar final (mol L^{-1}) e V2 é o volume da solução (mL).

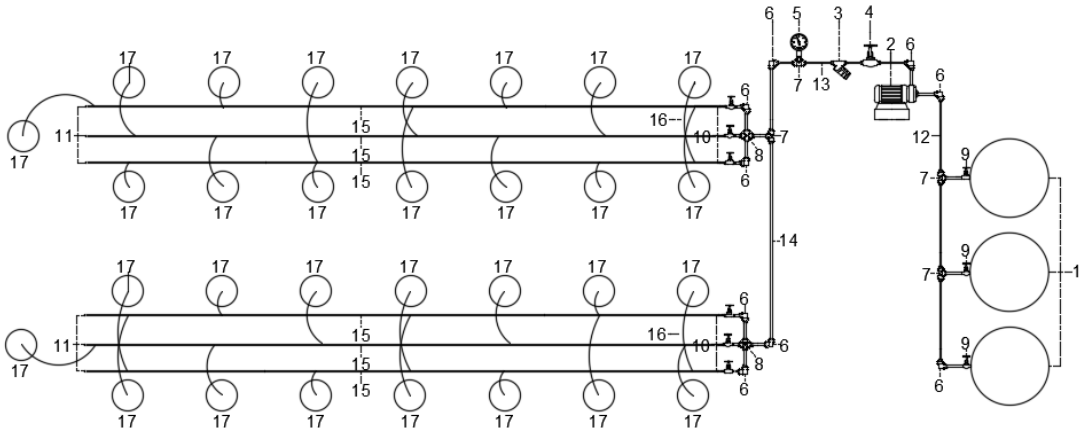
3.9 Variedade de lúpulo utilizada

A variedade utilizada para essa pesquisa foi a Cascade. Trata-se de uma variedade aromática, originária dos Estados Unidos, resistente a míldio e que, atualmente é uma das principais variedades cultivadas no Brasil (SPOSITO et al., 2019).

3.10 Sistema de irrigação

Foi utilizado um sistema de irrigação localizada por gotejamento, o qual foi constituído por três reservatórios de água com capacidade volumétrica de 120 litros, juntamente com três registros de esfera, sendo um para cada reservatório; uma motobomba 0.5 hp de potência; um registro metálico de gaveta; um filtro de tela de 120 mesh com abertura da malha equivalente a 125 micras; um manômetro de glicerina; uma linha de sucção; uma linha de recalque; uma linha principal, ambas de Policloreto de Vinila - PVC com diâmetro nominal (DN) de 20 mm; seis linhas laterais de Polietileno Linear de Baixa Densidade – PELBD com DN de 16 mm e um registro para cada linha, totalizando seis registros e seis finais de linha. Os emissores utilizados foram do tipo botão, autocompensante, anti-drenante, com vazão de 2 L h^{-1} e pressão de serviço de 12 mca. Em cada emissor foi instalado um microtubo e uma haste para conduzir a água até o vaso (Figura 2).

Figura 2 - Layout do sistema de irrigação e seus componentes



LEGENDA

1 - Reservátorio de água de 120 litros
2 - Motobomba de 0.5 hp de potência e 3450 RPM
3 - Filtro de tela de 120 mesh
4 - Registro de gaveta
5 - Manômetro
6 - Curva 90° soldável de PVC com diâmetro de 20 mm
7 - Tê soldável com bolsa roscável de PVC com diâmetro de 20 mm
8 - Cruz soldável de PVC com diâmetro de 20 mm
9 - Registro de esfera soldável de PVC com diâmetro de 20 mm
10 - Registro para tubo PELBD roscável com diâmetro de 25 mm e redução 25 para 20 mm
11 - Final de linha com diâmetro de 16 mm
12 - Linha de sucção de tubo PVC PN40 com diâmetro de 20 mm
13 - Linha de recalque de tubo PVC PN40 com diâmetro de 20 mm
14 - Linha principal de tubo PVC azul PN40 com diâmetro de 20 mm
15 - Linha lateral de tubo PELBD PN30 com diâmetro de 16 mm, botão gotejador autocompensante, anti drenannte, com vazão de 2 L h-1 e pressão de serviço 12 mca
16 - Microtubo com haste
17 - Vaso plástico com capacidade volumétrica de 25 litros

Foto: João de Jesus Guimarães - 2020

Destaca-se que as irrigações para os diferentes tratamentos foram realizadas individualmente, em virtude de se utilizar apenas uma motobomba. Desta forma, o procedimento adotado foi:

1) Abertura dos registros (linhas laterais e do reservatório) de apenas um tratamento, por exemplo, tratamento 1;
2) Ligar o sistema de irrigação;
3) Realizar a irrigação conforme a demanda do tratamento;
4) Desligar o sistema de irrigação;
5) Fechar os registros (linhas laterais e do reservatório) do tratamento irrigado;

Esse procedimento foi repetido para os demais tratamentos.

3.11 Uniformidade do sistema de irrigação

A uniformidade do sistema de irrigação consiste na distribuição uniforme da água ao longo do sistema e emissores, de maneira que todas as plantas recebam a mesma lâmina. Com base nisso, foi realizada a avaliação da uniformidade do sistema de irrigação através da coleta das vazões dos gotejadores com o auxílio de coletores com diâmetro de 8 cm e altura de 10,2 cm, os quais foram instalados em todos os

gotejadores ao longo das linhas laterais de irrigação (Figura 3). O tempo estabelecido para a coleta foi de quatro minutos.

As avalições foram realizadas em duas épocas da pesquisa: antes de iniciar e no término.

Figura 3 - Distribuição dos coletores ao longo das linhas laterais

Ao término do tempo de coleta, uma proveta graduada em mL foi utilizada para aferir a vazão coletada nos coletores. Os valores coletados foram transcritos para uma planilha eletrônica (Excel) para a determinação da uniformidade do sistema.

A uniformidade do sistema de irrigação pode ser determinada por coeficientes de uniformidade. Neste trabalho, foram utilizados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), Distribuição (CUC) e o Estatístico (CUE).

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) proposto por Christiansen (1942) foi calculado pela Equação 6.

$$CUC = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{1}^{n} |Xi - Xm|}{n \times Xm}\right] \quad (6)$$

Em que CUC é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%), X_m é o valor médio coletado pelos coletores (mL), X_i é a vazão coletada em cada coletor (mL) e n é o número de coletores instalados na área.

A vazão (L h^{-1}) foi determinada pelo método volumétrico proposto por Salomão (2008), sendo utilizado a Equação 7.

$$Q = \left(\frac{\left(\frac{V}{1000}\right)}{\left(\frac{T}{60}\right)} \right) \quad (7)$$

Em que Q é a vazão (L h^{-1}), V é o volume coletado pelos coletores (mL) e T é o Tempo de coleta (minutos).

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) proposto por Criddle et al. (1956) foi determinado pela Equação 8.

$$CUD = 100 \times \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (8)$$

Em que CUD é o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%), $q_{25\%}$ é a média dos 25% menores valores coletados (L h^{-1}) e q_m é o valor médio de todas as vazões coletadas (L h^{-1}).

O Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) foi proposto por Wilcox e Swailes (1947), sendo este, calculado pela Equação 9.

$$CUE = 100 \times \left(1 - \frac{S}{\overline{X}}\right) \quad (9)$$

Em que CUE é o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (%), S é o desvio padrão dos valores coletados (L h^{-1}) e $\overline{X}$ é a média dos valores coletados (L h^{-1}).

3.12 Curva de retenção de água do solo

Uma amostra indeformada de solo na camada de 0 a 0,20 m foi coletada e encaminhada para o Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu para a determinação da curva de água no solo.

A amostra foi submetida ao método da câmara de pressão de Richards (RICHARDS, 1965) e assim, determinado o conteúdo de água no solo. Em seguida, com o auxílio do software Soil Water Retention Curve – SWRC versão 3.0 (DOURADO NETO et al., 2000) gerou-se os parâmetros descritos na Tabela 6.

A curva de retenção de água no solo (Figura 4) foi ajustada ao modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980) conforme a Equação 10.

Tabela 6 - Parâmetros da equação de Van Genuchten – Botucatu - SP

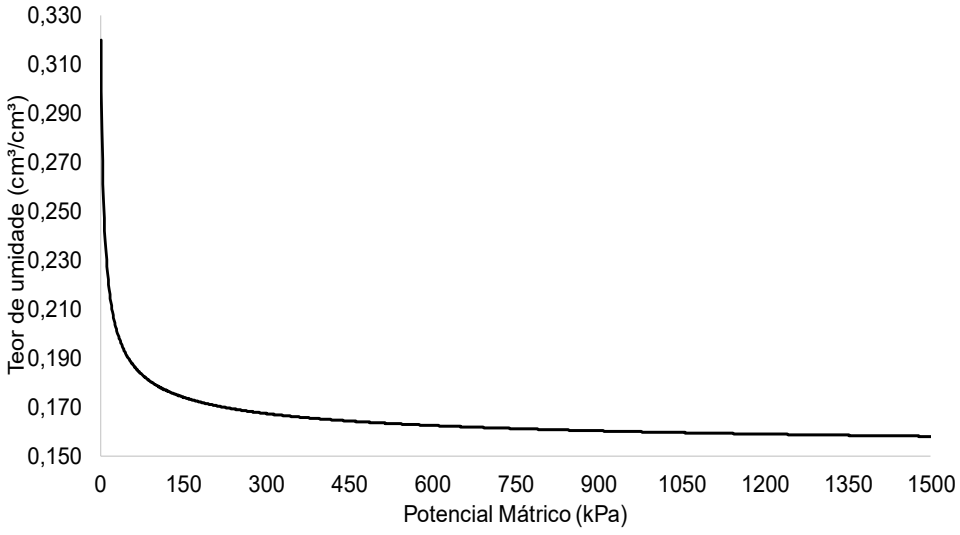
Parâmetros				
α (cm^{-1})	m	n	θr ($cm^3\ cm^{-3}$)	θs ($cm^3\ cm^{-3}$);
0,54458	0,3185	1,4674	0,14984	0,33974

Sendo: α – parâmetro de ajuste do modelo; m – parâmetro empírico; n – parâmetro empírico; θ_r – teor de água residual e θ_s. – teor de água de saturação.

$$\theta = \theta r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1+(|\Psi_m| \times \alpha)^n]^m} \quad (10)$$

Em que θ é o teor de água atual à base de volume ($cm^3\ cm^{-3}$), θ_r é o teor de água residual ($cm^3\ cm^{-3}$), θ_s. é o teor de água de saturação ($cm^3\ cm^{-3}$), Ψ_m é o potencial matricial de água no solo (kPa), α é o parâmetro de ajuste (cm^{-1}), n é a medida de distribuição do tamanho dos poros e m é a relação 1 - $\frac{1}{m}$.

Figura 4 - Curva de retenção de água do solo



3.13 Manejo da irrigação com base no teor de água do solo

O teor de água do solo foi monitorado com base na curva de retenção de água no solo que expressa a relação entre a quantidade de água e potencial matricial da água presente no solo. Para isso, foram instalados nove tensiômetros de punção na

profundidade de 0,20 m, sendo três para cada tratamento. A instalação dos tensiômetros seguiu a metodologia proposta por Marouelli (2008).

Antes da instalação, os tensiômetros foram preenchidos com água destilada e mantidos sem a tampa por um período de 48 horas em um balde com água para que houvesse a saturação da capsula porosa e também a retirada do ar presente nos poros da capsula (escorva).

Após as 48 horas, o solo foi umedecido com água e com o auxílio de um trado de rosca com o mesmo diâmetro do tensiômetro, numa distância de 0,10 m da planta foi feita uma perfuração de 0,20 m de profundidade. Em seguida, o tensiômetro foi introduzido até o fim do furo. Para garantir que não houvesse espaço vazio entre o tensiometro e a parede do furo, foi realizado a compressão do solo ao redor do tensiometro.

As leituras dos tensiômetros (Figura 5A) foram realizadas diariamente, sempre às 8 horas da manhã com o auxílio de um tensímetro digital (Figura 5B), sendo possível determinar indiretamente a umidade atual do solo.

Figura 5 – Leitura dos tensiômetros de punção (A) tensímetro digital (B)

Para promover a melhor adaptação das plantas ao novo ambiente, nos primeiros 33 DAT a lâmina de irrigação foi calculada com base na média de todos os tensiômetros instalados no experimento, sendo aplicado uma lâmina média de 3,7 mm por dia. Após o início dos tratamentos, as lâminas de irrigação foram calculadas com base na média dos tensiômetros instalados em cada tratamento.

O intuito do manejo foi manter o solo próximo a capacidade de campo (tensão de 10 kPa). Desta forma, quando a leitura média dos tensiômetros foi superior à 10 kPa

foi realizado as irrigações conforme a demanda de cada tratamento. A umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) foi de 0,2337 $cm^3\ cm^{-3}$.

Para o cálculo da lâmina líquida (LL), lâmina bruta (LB) e do tempo de irrigação (TI) foram utilizadas as Equação 11, 12 e 13.

$$LL=(\theta_{cc} - \theta_a)\times Z \times 10 \quad (11)$$

Em que LL é a lâmina liquida de irrigação (mm), θ_{cc} é a umidade na capacidade de campo ($cm^3\ cm^{-3}$), θ_a é a umidade atual no momento da leitura do tensiômetro ($cm^3\ cm^{-3}$) e Z é a profundidade efetiva a umedecer (cm).

$$LB = \frac{LL}{Ea} \quad (12)$$

Em que LB é a lâmina bruta aplicada (mm), LL é a lâmina liquida de irrigação (mm) e Ea é a eficiência de irrigação (adimensional).

$$Ti = \left(\frac{LB \times A}{N \times q}\right) \times 60 \quad (13)$$

Em que Ti é o tempo de irrigação (minutos), LB é a lâmina bruta aplicada (mm), A é a área ocupada pela planta (m^2), n é o número de emissores e q é a vazão do emissor ($L\ h^{-1}$).

Vale ressaltar, que a irrigação foi realizada individualmente para cada tratamento, ou seja, apenas um tratamento por vez. Ao termino da irrigação do tratamento 1, se iniciava a irrigação para o tratamento 2 e assim, até finalizar todos os tratamentos.

3.14 Monitoramento do pH da solução do solo

Para a extração da solução do solo, foi utilizado nove extratores de cápsulas porosas, sendo três para cada tratamento.

A instalação dos extratores seguiu a metodologia proposta por Blanco (2006). De posse dos extratores, com o auxílio de um trado de rosca (mesmo diâmetro do extrator), foi realizado uma perfuração no solo a 0,20 m de profundidade com uma

distância de 0,05 m da planta. Após a perfuração do solo, os extratores foram introduzidos manualmente.

A coleta da solução do solo foi realizada a cada 15 dias, sempre após as irrigações. Nesse procedimento, com o auxílio de uma seringa plástica e de uma válvula de três vias realizou-se a aplicação de vácuo nos extratores. A solução coletada, foi armazenada em recipientes plásticos devidamente identificados e com o auxílio de um medidor portátil AKSO (Modelo AK90) realizou-se a aferição do pH.

O intervalo adotado para a coleta foi de quatro horas, sendo: duas horas entre as irrigações e aplicação de vácuo e duas horas entre a aplicação e coleta da solução.

3.15 Monitoramento das variáveis climáticas

Uma estação meteorológica automática Campbell Scientific Inc. foi instalada no centro da casa de vegetação (Figura 6A), a mesma é composta por sensores de temperatura do ar (máxima e mínima) e umidade relativa do ar (máxima e mínima), além de um *Datalogger* modelo CR-1000 (Figura 6B). O *Datalogger* foi programado para realizar as leituras a cada cinco minutos e armazenados os dados de temperatura.

Figura 6 - Estação meteorológica com os sensores (A) e o interior juntamente com o Datalogger (B).

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar possibilitaram o cálculo da pressão de saturação de vapor d' água no ar (e_s), pressão parcial de vapor d´água no

ar (e_a) e o déficit de pressão de vapor (DPV), conforme apresentado por Alvarenga et al. (2014). As Equações 14, 15 e 16 foram utilizadas para os respectivos cálculos.

$$e_s = 0{,}6108 \times 10^{\left(\frac{7{,}5 \times T}{237{,}3 + T}\right)} \quad (14)$$

Em que e_s é a pressão de saturação de vapor d' água presente no ar (kPa) e T é a temperatura do ar (°C).

$$e_a = \left(\frac{UR \times e_s}{100}\right) \quad (15)$$

Em que e_a é a pressão parcial de vapor d' água (kPa), UR é a umidade relativa do ar (%) e e_s é a pressão de saturação de vapor d' água presente no ar (kPa).

$$DPV = (e_s - e_a) \quad (16)$$

Em que DPV é a déficit de pressão de vapor d´água presente no ar (kPa), e_s é a pressão de saturação de vapor d' água presente no ar (kPa) e e_a é a pressão parcial de vapor d' água (kPa).

3.16 Condução da pesquisa

A pesquisa foi conduzida em vasos de plástico com formato circular e capacidade volumétrica de 25 litros. Os vasos foram preenchidos com solo (Latossolo Vermelho Eutrófico de textura franco arenosa) coletado na Fazenda Experimental São Manuel/UNESP e dispostos no sentido Leste-Oeste. O espaçamento adotado entre plantas e entre linhas foi de 1 m.

3.16.1 Mudas de lúpulo

As mudas de lúpulo foram adquiridas junto ao viveiro - Lúpulo Gaúcho, localizado na cidade de Gramados, estado do Rio Grande do Sul. No momento da aquisição, as mudas estavam com 25 dias.

Após o recebimento, as mudas foram encaminhadas e mantidas na casa de vegetação por um período de 45 dias. Durante esse período as mudas foram acondicionadas em vasos com capacidade volumétrica de 0.05 m³ e cobertas por uma tela sombrite 80% e regadas diariamente com uma proveta. O volume diário de água aplicado em cada muda foi de 100 mL.

3.16.2 Adubação

A adubação utilizada nessa pesquisa seguiu as recomendações de Darby (2011) e Dodds (2017), a qual foi dividida em adubação de plantio e de cobertura. Os autores recomendam que sejam utilizados 230 kg ha^{-1} de nitrogênio aplicado parceladamente, além de 90 a 115 kg ha^{-1} de potássio e 40 kg ha^{-1} fósforo.

3.16.2.1 Adubação para o transplantio

No transplantio, a adubação foi feita nas covas a 0,15 m de profundidade. A quantidade, bem como os nutrientes utilizados foram: 42,5 kg ha^{-1} de ureia com 45% de nitrogênio; 100 kg ha^{-1} de cloreto de potássio(K_2O) com 60% de potássio e 40 kg ha^{-1} de superfosfato simples (P_2O_3) com 18% de fósforo.

3.16.2.2 Adubação de cobertura

A adubação de cobertura seguiu as recomendações apresentadas no item 3.16.2, sendo utilizada ureia (45% de nitrogênio) e boro (B).

A ureia foi parcelada em cinco vezes (25, 50, 75, 100 e 125 dias após o transplantio - DAT), sendo aplicada a uma distância de 0,10 m das plantas (Figura 7A), cada aplicação foi de 42,5 kg ha^{-1}, totalizando 212,5 kg ha^{-1} aplicado durante o ciclo da cultura. O intuito da aplicação parcelada foi garantir uma maior eficiência dos nutrientes, uma vez que, foi fornecida em pequenas frações ao longo do ciclo, permitindo que a cultura utilizasse o nutriente no momento certo.

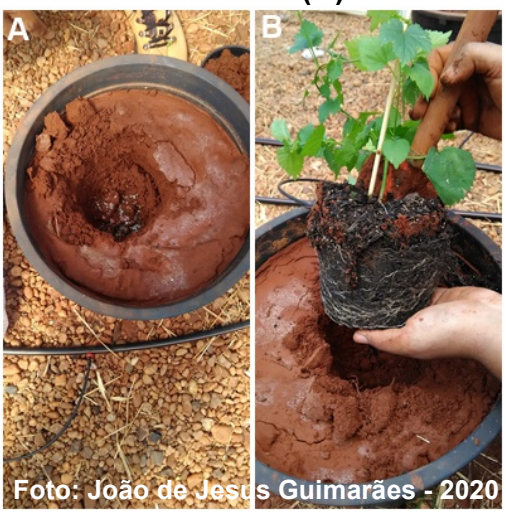
O boro foi aplicado 30 DAT via foliar e a quantidade utilizada foi de 2 kg ha^{-1} diluída em 3 litros de água e aplicada com um pulverizado manual de compressão (Figura 7B).

Figura 7 - Adubação de cobertura com ureia aplicada junto ao solo (A) e boro aplicado via foliar (B)

3.16.3 Transplantio das mudas de lúpulo

Com o auxílio de uma pá de jardinagem foi feito uma cova por vaso na profundidade de 0,15 m (Figura 8A), e em seguida foi realizada a adubação de plantio, conforme apresentado no item 3.16.2.1 e o transplantio (Figura 8B). O transplantio das mudas foi realizado no dia 28 de outubro de 2018, às 8 horas da manhã.

Figura 8 - Covas e adubação de plantio (A) e transplantio das mudas de lúpulo Cascade (B)



3.16.4 Início dos tratamentos

Os tratamentos iniciaram aos 35 DAT, sendo utilizado os seguintes procedimentos:

1) Preparo das soluções: soluções de hidroxido de sódio (NaOH) e ácido fosfórico (H_3PO_4) foram preparadas conforme apresentando nos itens 3.8.1 e 3.8.2;
2) Preenchimento dos reservatórios: os três reservatórios foram preenchidos com água até atingirem um volume de 80 litros;
3) Aferição do pH inicial da água: um peagametro portátil AKSO (Modelo AK90) foi utilizado para aferir o pH após o preenchimento dos reservatórios com água;
4) Adição de solução para elevar o pH: com base no pH inicial, foi adicionado solução de hidroxido de sódio (NaOH) para elevar o pH até atingir as faixas estabelecidas para cada tratamento, visto que, o pH inicial variou de 5.8 a 6.2. Para isso, foi utilizado uma proveta graduada em mL para quantificar o volume da solução;
5) Mistura: foi realizada durante 1 minuto para homogeneizar a composição (água + solução);
6) Repouso: a composição foi mantida em repouso por 30 minutos para promover a reação e, assim corrigir o pH;
7) Aferição do pH final: corresponde a verificação final do pH, e assim, constatar se o mesmo estava dentro da faixa estabelecida para cada tratamento. Em alguns momentos, mesmo adicionando a solução o pH ficou abaixo da faixa estabelecida, sendo necessário repetir os procedimentos 4, 5, 6 e 7;
8) Irrigação: após a verificação do pH final, a irrigação foi realizada conforme a demanda da cultura;
9) Aferição diária do pH: foi adotado o critério de todos os dias antes da realização da irrigação;
10) Adição de solução para baixar o pH: com base na aferição diária com o peagâmetro e havendo a necessidade de correção (baixar o pH), foi adicionado solução de ácido fosfórico (H_3PO_4), bem como, a realização da mistura, repouso da composição, aferição e a irrigação.

Os reservatórios foram preenchidos sempre que o volume de água estava em torno de 10 litros, sendo repetido todos os procedimentos anteriores do item 3.16.4.

Os valores do pH inicial, final, diário e corrigido, além do volume das soluções de hidróxido de sódio e ácido fosfórico utilizado para elevar e baixar o pH da água estão apresentados nas Tabelas 7 e 8. É importante destacar, que houve uma variação quanto ao volume utilizado das soluções. Essa variação ocorreu devido ao pH inicial e ao volume de água no reservatório, pois a cada irrigação o volume diminuía.

Tabela 7 - Valores de pH inicial e final da água e o volume da solução de hidróxido de sódio (NaOH) utilizado para elevar o pH da água durante a condução da pesquisa - Botucatu - SP

	1		2		3	
pH inicial	HS (mL)	pH final	HS (mL)	pH final	HS (mL)	pH final
6,2	-	-	115	6,6	375	7,2
6,1	-	-	185	6,6	610	7,1
6,1	-	-	195	6,6	600	7,2
6,0	-	-	210	6,6	510	7,3
6,0	-	-	210	6,5	610	7,0
5,8	50	6,1	260	6,5	610	7,2
6,1	-	-	210	6,6	600	7,1
5,9	50	6,1	260	6,6	600	7,1
5,8	55	6,0	315	6,6	600	7,1
5,8	55	6,1	315	6,5	600	7,1

Sendo: pH – potencial hidrogenionico e HS – solução de hidróxido de sódio.

Tabela 8 - Valores de pH diário, corrigido e o volume da solução de ácido fosfórico (H_3PO_4) utilizada para baixar o pH da água durante a condução da pesquisa - Botucatu - SP

Tratamento								
1			2			3		
pH diário	AF (mL)	pH corrigido	pH diário	AF (mL)	pH corrigido	pH diário	AF (mL)	pH corrigido
6,6	65	6,3	7,1	60	6,8	7,6	60	7,4
6,6	60	6,3	7,1	60	6,7	7,6	60	7,2
6,6	55	6,4	7,1	55	6,8	7,6	55	7,2
6,6	55	6,3	7,1	55	6,7	7,6	55	7
6,6	50	6,4	7,1	50	6,8	7,6	50	7,2
6,6	50	6,3	7,1	50	6,7	7,6	50	7
6,6	50	6	7,1	50	6,6	7,6	45	7,2
6,6	40	6,4	7,1	45	6,8	7,6	45	7,1
6,6	40	6,1	7,1	40	6,8	7,6	40	7,2
6,6	30	6,3	7,1	40	6,7	7,6	40	7,1
6,6	25	6,4	7,1	35	6,7	7,6	35	7,2
6,7	75	6,3	7,1	30	6,8	7,6	35	7,1
6,7	75	6,1	7,1	25	6,9	7,6	25	7,1
6,7	65	6,5	7,1	20	6,8	7,6	20	7,1
6,7	60	6,5	7,2	40	6,9	7,6	15	7,2
6,7	55	6,4	7,2	40	6,8	7,6	70	7,1
6,7	50	6,4	7,2	35	6,8	7,6	60	7
6,7	50	6,3	7,2	35	6,7	7,6	50	7,1
6,7	45	6,2	7,3	50	6,7	7,6	50	7
6,7	30	6,4	7,3	40	6;6	7,6	45	7,2
6,7	30	6,3	7,3	35	6,8	7,6	45	7,1
6,7	25	6,4	-		-	-	-	-
6,8	75	6,3	-	-	-	-	-	-
6,8	35	6,4	-	-	-	-	-	-
6,9	55	6,3	-	-	-	-	-	-
6,9	40	6,1	-	-	-	-	-	-

Sendo: pH – potencial hidrogenionico e AF – solução de ácido fosfórico.

3.16.5 Sistema de condução para as plantas

O lúpulo é uma trepadeira que pode atingir uma altura de até 10 metros, fazendo-se necessário o uso de um sistema de condução. Entretanto, a estufa utilizada para o desenvolvimento da pesquisa apresentou uma altura inferior, sendo necessário adaptar um sistema de condução.

O sistema de condução das plantas de lúpulo foi constituído por bambu e arame galvanizado. Em cada vaso, foram instalados três colmos de bambus com 2 metros

de altura e diâmetro de 0,10 m, além de três arcos de arame galvanizado espaçados a 0,40 m e 0,60 m do solo até o primeiro arco e do último arco até a extremidade superior dos bambus (Figura 9A). Os ramos foram conduzidos no sentido vertical utilizando os bambus e os arcos como meio de condução. (Figura 9B).

Figura 9- Sistema de condução (A) e condução das plantas de lúpulo pelo sistema (B)

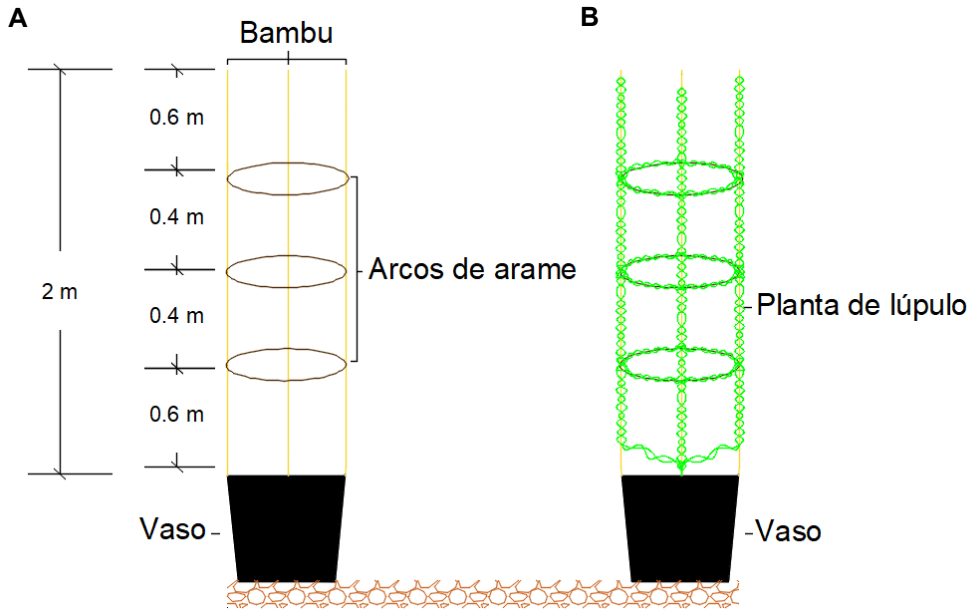


Foto: João de Jesus Guimarães - 2020

3.16.6 Controle fitossanitário

No Brasil ainda não existem produtos químicos registrados para o controle de pragas, doenças e fungos na cultura do lúpulo. Por esse motivo, o controle tem sido realizado com produtos naturais e orgânicos.

O produto utilizado foi o óleo de Neem. E caracterizado por ser um óleo vegetal natural, atuando no combate e na prevenção de pragas e fungos. As aplicações foram realizadas semanalmente, sempre às 18 horas, com o auxílio de um pulverizado manual de compressão e um kit de EPI (Equipamentos de Proteção Individual). A dose utilizada foi de 5 mL por litro de água.

3.16.7 Colheita

As colheitas foram realizadas manualmente (Figura 10) aos 93, 105, 112, 142 e 162 DAT quando os cones (inflorescências) apresentaram uma coloração verde clara, textura de “papel” e um aroma característico do lúpulo comercial destinado às cervejarias. O termo textura de papel é dado quando se aperta os cones e apresenta-se um som semelhante ao de se amassar uma folha de papel. Essas são informações técnicas obtidas por produtores de lúpulo.

Figura 10 - Cones de lúpulo prontos para serem colhidos

3.17 Parâmetros avaliados

3.17.1 Altura de planta

A avaliação da altura de planta (AP) foi realizada no último dia da condução da pesquisa, aos 153 DAT. Para isso, realizou-se o corte do caule a uma altura de 0,05 m do solo e com o auxílio de uma trena metálica Tramontina graduada em centímetros (0,1 cm) foi mensurada a altura da extremidade inferior (ponto onde o corte foi feito) até a gema apical. Um total de vinte e quatro plantas foram avaliadas, sendo oito por tratamento, estas plantas foram utilizadas para a determinação do diâmetro do caule, área foliar e biomassa da planta.

3.17.2 Diâmetro do caule

O diâmetro do caule (DC) foi quantificado aos 153 DAT com o auxílio de um paquímetro digital MTX com precisão de 0,02 mm. Para a padronização, foi adotado uma altura de 0,05 m da superfície do solo. Um total de vinte e quatro plantas foram avaliadas, sendo oito por tratamento.

3.17.3 Área foliar

A área foliar (AF) foi avaliada aos 153 DAT. Todas as folhas das plantas de lúpulo foram coletadas e armazenadas em sacos de papel Kraft, os quais foram devidamente identificados, lacrados e encaminhados para o Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências – IB/UNESP, Câmpus de Botucatu para a estimativa da área foliar. A estimativa foi realizada com o auxílio do scanner LiCOR (modelo Li-3000). Um total de vinte e quatro plantas foram avaliadas, sendo oito por tratamento.

3.17.4 Biomassa da planta

A avaliação da biomassa das plantas de lúpulo foi realizada aos 153 DAT, sendo avaliado a massa fresca e seca do caule e das folhas. Um total de vinte e quatro plantas foram avaliadas, sendo oito por tratamento.

3.17.4.1 Massa fresca e seca do caule e das folhas

As folhas e os caules foram os mesmos utilizados para as avaliações da altura e da área foliar. Ambas foram pesadas em uma balança digital SHIMADZU (Modelo AX200) com precisão de 0,0001 g, sendo determinado a massa fresca (MF). Em seguida, os caules e as folhas foram armazenados em sacos de papel Kraft e secos em estufa de ventilação forçada a 65ºC por um período de 48 horas até atingirem

massa constante. Após a secagem, as respectivas partes foram pesadas, determinando a massa seca (MS).

3.17.5 Índices de crescimento

Os índices de crescimento são determinados por meio de equações matemáticas conforme apresentando por Peixoto et al. (2011). Através desses índices, é possível determinar o quanto de material vegetal foi produzido pelos diferentes órgãos vegetais.

3.17.5.1 Razão de área foliar

A razão de área foliar (RAF) das plantas de lúpulo foi determinada pela relação da área foliar (AF) e da matéria seca total da planta (MSTP) (Equação 17).

$$RAF = \frac{AF}{MSTP} \quad (17)$$

Em que RAF é a razão de área foliar ($cm^2\ g^{-1}$), AF é a área foliar (cm^2) e MSTP é a matéria seca total da planta (g).

3.17.5.2 Área foliar especifica

A área foliar especifica (AFE) das plantas foi determinada pela relação da área foliar (AF) e da matéria seca da folha (MSF), conforme a Equação 18.

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (18)$$

Em que AFE é a área foliar especifica ($cm^2\ g^{-1}$), AF é a área foliar (cm^2) e MSF é a matéria seca da folha (g).

3.17.5.3 Razão de peso das folhas

A razão de peso das folhas (RPF) foi determinada pela Equação 19, por meio da razão da matéria seca da folha (MSF) e da matéria seca total da planta (MSTP).

$$RPF = \frac{MSF}{MSTP} \quad (19)$$

Em que RPF é a razão de peso das folhas (adimensional), MSF é a matéria seca da folha (g) e MSTP é a matéria seca total da planta (g).

3.17.6 Teor nutricional do tecido foliar vegetal

A avaliação do teor nutricional (macro e micronutrientes) das folhas foi realizada aos 153 DAT. Para isso, foi coletado aleatoriamente 20 g de folhas das plantas de lúpulo. As folhas foram armazenadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada por 24 horas. Após a secagem as folhas foram moídas, armazenadas em sacos de papel devidamente identificados e encaminhados para o Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu. Um total de vinte e quatro plantas foram avaliadas, sendo oito por tratamento.

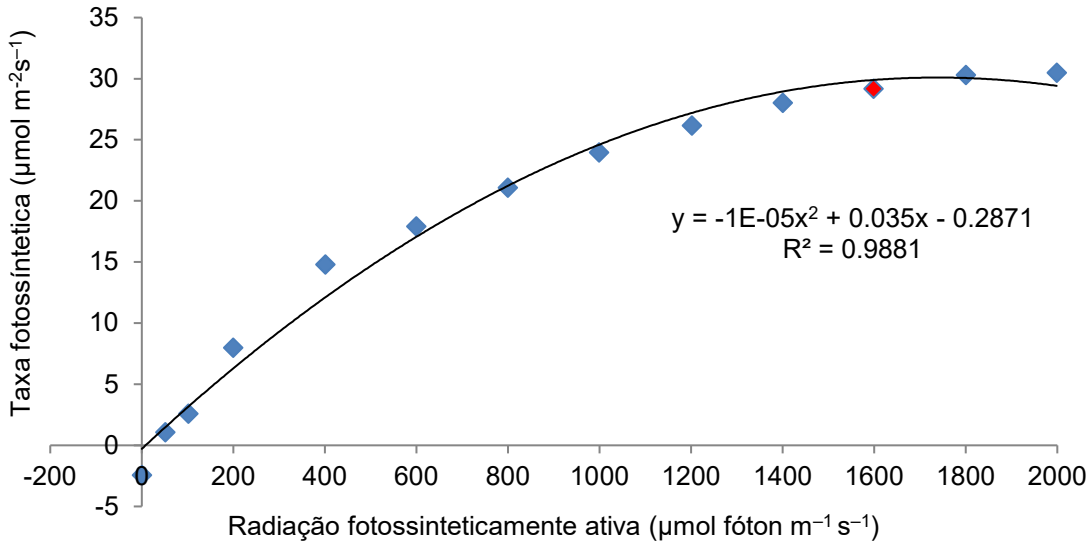
3.17.7 Trocas gasosas

A avaliação de trocas gasosas foi realizada aos 94 DAT no período da manhã, entre as 8 e 11 horas com o auxílio de um analisador infravermelho de gases (IRGA) LI-COR (Modelo LI-6400 Portable Photosynthesis System).

Inicialmente, foi elaborada a curva de absorção de luz (Figura 11), sendo utilizado uma folha por planta, esta localizada no terço médio. Por meio da curva é possível determinar a taxa máxima de absorção luminosa, e assim, a taxa fotossintética máxima que a planta consegue exercer. Desta forma, a taxa máxima de absorção luminosa determinada para o lúpulo no momento da avaliação e em função das condições experimentais estudadas foi de 1600 μmol m^{-2} s^{-1}, visto que, a partir deste

valor foi notado a estabilização dos valores da taxa fotossintética a medida com que a incidência de luz aumentava. Um total de dezoito plantas foram analisadas, sendo seis de cada tratamento.

Figura 11 - Curva de absorção de luz pelas plantas de lúpulo



3.17.8 Perda de eletrólitos foliar

A avaliação da perda de eletrólitos foliar foi realizada aos 94 e aos 133 DAT. Um total de doze plantas foram avaliadas, sendo quatro por tratamento. Para tal, foram coletados aleatoriamente folhas totalmente desenvolvidas, as quais foram encaminhadas para o Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências – IB/UNESP, Câmpus de Botucatu.

A determinação da perda de eletrólitos seguiu a metodologia proposta por Lafuente et al. (1991). Para isso, foram cortados 30 discos foliares de cada planta com diâmetro de 2 mm com o auxílio de um perfurador, os quais foram acondicionados em um *becker* com solução de 10 mL de manitol a 0,3 molar. Em seguida, os *beckers* foram mantidos sob agitação por 24 horas, após esse período foi realizado a aferição da condutividade elétrica (C1) da solução com auxílio de condutivímetro digital de bolso AKSO (Modelo AK51). Os *beckers* (solução de manitol + discos) foram pesados em balança digital SHIMADZU (Modelo AX200) com precisão de 0,0001 g e mantidos sob fervura por um período de 10 minutos. Logo após a fervura os *beckers* (solução

de manitol + discos) foram pesados e reposto o volume perdido com água destilada, sendo novamente mantidos em agitação por 15 minutos. Por fim, foi aferido a condutividade elétrica (C2) e por meio da Equação 20 foi determinado a perda de eletrólitos (PE).

$$PE = \frac{C1}{C2} \times 100 \quad (20)$$

Em que PE é a perda de eletrólitos (%), C1 é a leitura 1 da condutividade elétrica da solução (mS cm^{-1}) e C2 é a leitura 2 da condutividade elétrica da solução (mS cm^{-1}).

3.17.9 Teor de pigmentos foliares

A avaliação do teor de pigmentos foliares foi realizada aos 94 e aos 133 DAT. Um total de doze plantas foram avaliadas, sendo quatro por tratamento. Para isso, foram coletadas às 8 horas da manhã, aleatoriamente folhas de lúpulo totalmente desenvolvidas, as quais foram encaminhadas para o Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências – IB/UNESP, Câmpus de Botucatu.

O teor de pigmentos foliar foi determinado conforme a metodologia proposta por Lee et al. (1987). Para tal, foram cortados 12 discos foliares (um de cada planta) com 2 cm de diâmetro, os quais foram acondicionados em tubos, juntamente com 1 mL de solução de dimetilformamida (DMF). Os tubos foram cobertos com papel alumínio e mantidos durante 24 horas para que a solução pudesse extrair os pigmentos. Após 24 horas, determinou-se a densidade ótica (D.O.) da solução (DMF + pigmentos) com o auxílio de um espectrofotômetro, sendo utilizado os comprimentos de ondas de 480 nm (absorbância A), 646,8 nm (absorbância B) e 663,8 nm (absorbância C). Com base nas leituras do espectrofotômetro e das Equações 21, 22 e 23 foi determinado a clorofila *a*, *b* e carotenoides totais.

$$ClorA = (12 \times \text{absorbância C}) - (3{,}11 \times \text{absorbância B}) \quad (21)$$

Em que ClorA é a clorofila *a*, C é a leitura no comprimento de onda de 663,8 nm e B é a leitura no comprimento de onda de 646,8 nm.

$$\text{ClorB} = (20{,}78 \times \text{absorbância B}) - (4{,}88 \times \text{absorbância C}) \quad (22)$$

Em que ClorB é a clorofila *b*, B é a leitura no comprimento de onda de 646,8 nm e C é a leitura no comprimento de onda de 663,8 nm.

$$\text{CT} = \frac{(1000 \times \text{absorbância A}) - (1{,}12 \times \text{ClorA}) - (34{,}07 \times \text{ClorB})}{245} \quad (23)$$

Em que CT são os carotenoides totais, A é a leitura no comprimento de onda de 480 nm, ClorA é a clorofila *a* e ClorB é a clorofila *b*.

3.17.10 Produtividade

Para a determinação da produtividade, os cones foram pesados individualmente com o auxílio de uma balança de precisão, obtendo-se a massa em gramas.

Ao término da pesquisa, foi realizado a soma da massa de todos os cones para cada planta. A produtividade das plantas de lúpulo obtida foi expressa em gramas de cones por planta (g planta^{-1}).

3.17.11 Compostos

Três amostras constituídas por 30 g de cones de lúpulo foram armazenadas em sacos metalizados, acondicionadas em uma caixa térmica de poliestireno expandido (para manter a temperatura em 20°C) e encaminhadas para o laboratório TECDEN Tecnologia LTDA -EPP, localizado na cidade de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul para a determinação dos compostos: alfa e beta-ácido. Os compostos foram determinados através do princípio da espectrofotometria e do método ASBC HOPS 6A, 8 e 12 proposto pela *American Society of Brewing Chemist* (ASBC).

3.18 Análise estatística

Todos os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Em seguida, foi verificado a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e a homocedacidade dos dados pelos testes de Bartlett, Levene e Brown-Forsythe (*p>0,05*). Nos casos em que os dados não atenderam os critérios dos respectivos testes, foi realizado a transformação de Box-Cox.

O teste de comparação de médias (Teste de Tukey) à 5% de significância foi utilizado para a análise do teor nutricional no tecido vegetal foliar, trocas gasosas, parâmetros de crescimento e biomassa, índices de crescimento e produtividade. Já, para a perda de eletrólitos e teor de pigmentos (clorofila *a*, *b* e carotenoides totais) foi utilizado a análise de medidas repetidas, com a abordagem univariada para análise de perfis (Análise de Perfil Univariado) pelo Teste de Bonferroni a 5% de significância.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R, versão 3.6.1. (R CORE, 2016) e para melhor interpretação dos resultados, figuras (gráficos) foram elaboradas através do software SigmaPlot®, versão 12 (SYSTAT SOFTWARE, 2010).

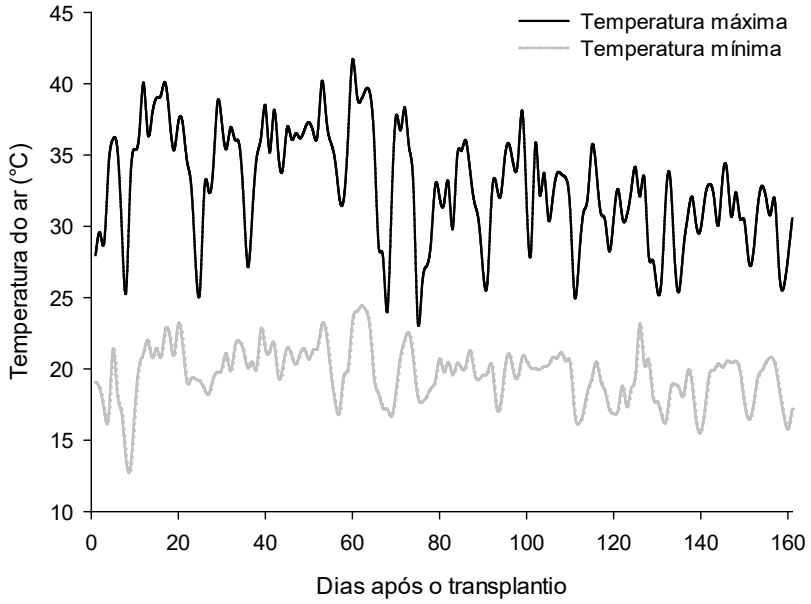
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis climáticas no interior da casa de vegetação

4.1.1 Temperatura do ar

Conforme apresentado na Figura 12, observa-se que a temperatura máxima variou de 23,32 a 41,68°C e a mínima de 13,02 a 24,43°C. A temperatura média do ar foi de 24.58°C, sendo que o período mais quente registrado foi entre os 30 e 60 DAT, com uma média de 26.62°C.

Figura 12 - Temperatura máxima e mínima do ar no interior da casa de vegetação durante a condução da pesquisa



Segundo Seemann (1979) e Silva et al. (2003) a temperatura do ar no interior dos ambientes protegidos (casa de vegetação) é de 10 a 20% superior à parte externa, em virtude do tamanho, altura do pé direito, tipo de cobertura e da presença ou não de cortinas. Por esses motivos, a temperatura máxima é a que mais sofre influência (SANTOS; JUNIOR; NUNES, 2010).

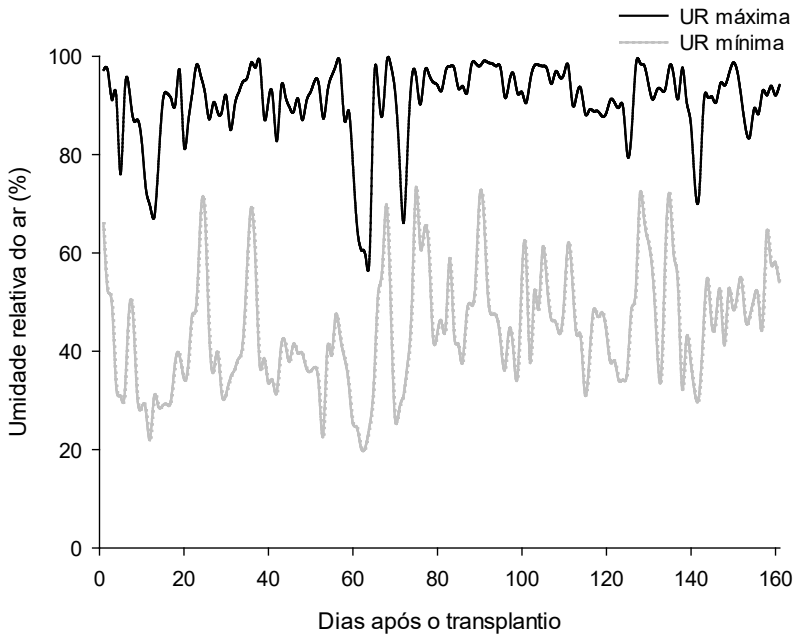
Spósito et al. (2019), afirmam que temperaturas do ar entre 20 e 30°C são as mais propicias para o crescimento e desenvolvimento das plantas de lúpulo. De acordo com Carvalho (2018), para a sobrevivência das plantas de lúpulo, a temperatura mínima do ar ideal é de 8°C, enquanto a máxima deve ser inferior a 35°C. Temperaturas do ar acima de 32°C pode interferir na fisiologia da planta, causando

florescimento precoce e baixa biossintetização de alfa e beta-ácidos (SREČEC et al., 2004; DE KEUKELEIRE et al., 2007; MOZNY et al., 2009; PAVLOVIC et al., 2012; BAUERLE, 2019). Ao observar os valores de temperatura máxima (Figura 12) é possível verificar que a temperatura máxima do ar esteve acima dos 32°C durante quase todo o período de condução, o que de fato causou florescimento precoce nas plantas, principalmente nas plantas do tratamento 3.

4.1.2 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar (UR) teve comportamento que pode ser observado na Figura 13. A UR máxima variou de 59,43 a 99,10% e a UR mínima de 20,53 a 79,58%. A UR média do ar registrada ao longo da condução da pesquisa foi de 71,50%.

Figura 13 - Umidade relativa máxima e mínima do ar no interior da casa de vegetação durante a condução da pesquisa



A UR do ar apresentou comportamento inverso à temperatura do ar (Figura 13), o que é previsto. Esse comportamento ocorre, pois com o aumento da temperatura, o ar se aquece e a atmosfera consegue reter mais água na forma de vapor (COSTA; LEAL; CARMO JUNIOR, 2004). Desta forma, durante o dia quando a temperatura do ar é alta, a UR do ar tende a ser menor. Enquanto a noite, com o declínio da

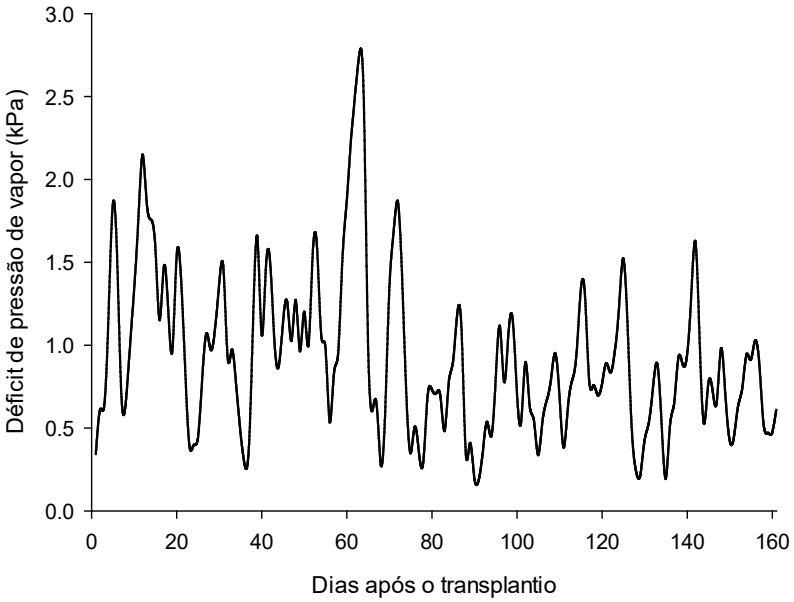
temperatura, a UR aumenta podendo chegar a 100% (TUBELIS; NASCIMENTO, 1988; PRADOS, 2007).

Um estudo realizado na Eslovênia com a variedade Aurora, Pavlovic et al. (2012) constataram que a UR apresenta baixa correlação com os teores de alfa-ácidos, contudo, os maiores teores foram obtidos quando a UR se encontra próximo a 71%.

4.1.3 Déficit de pressão de vapor

O déficit de pressão de vapor (DPV) durante a condução do experimento variou de 0,18 a 2,76 kPa, sendo registrado um DPV médio de 0,93 kPa (Figura 14).

Figura 14 - Déficit de pressão de vapor no interior da casa de vegetação durante a condução da pesquisa



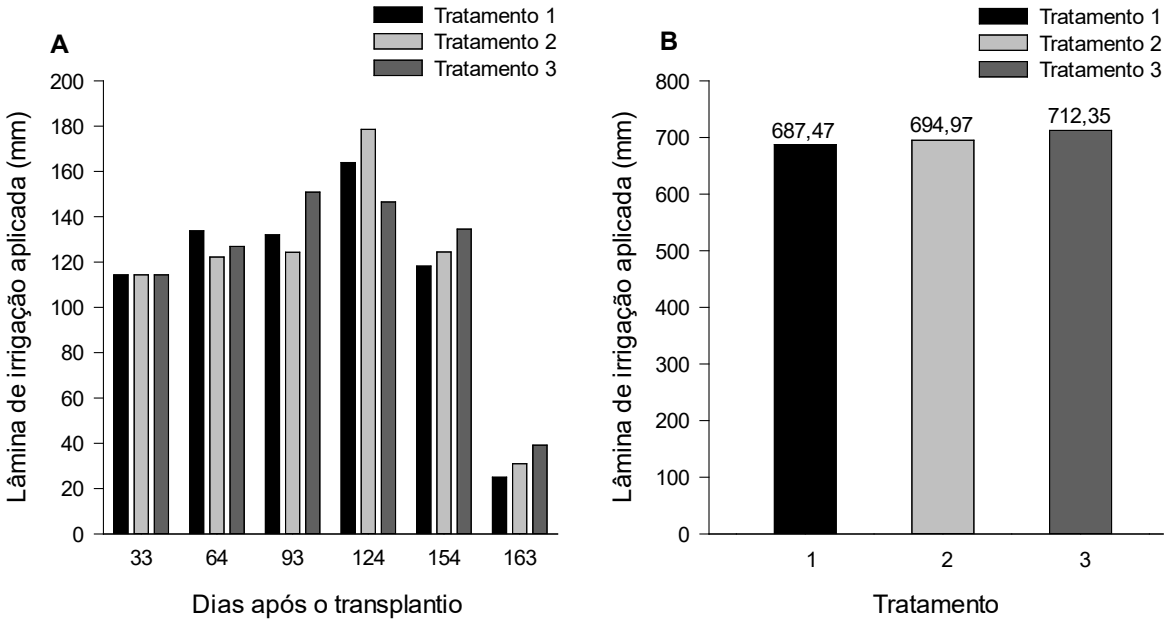
O DPV indica a redução do potencial de água na atmosfera, principalmente com o aumento da temperatura do ar. Desta forma, quanto maior a temperatura do ar no ambiente, maior será a quantidade de água na forma de vapor retida pela atmosfera (PIMENTEL, 2004; YUAN et al., 2019). Por esse motivo, nota-se que os maiores valores de DPV ocorreram com o aumento da temperatura do ar e com a diminuição da UR.

O aumento do DPV afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas, podendo causar a mortalidade e a redução da produtividade das plantas (WILLIAMS et al., 2012; LOBELL et al., 2014; RESTAINO, PETERSON; LITTELL, 2016; DING et al., 2018). Esses efeitos são decorrentes do fechamento estomático das plantas, fazendo com que as taxas fotossintéticas das folhas diminuam significativamente (FLETCHER; SINCLAIR; ALLEN JÚNIOR, 2007).

4.2 Lâminas de irrigação aplicada

A Figura 15A apresenta as lâminas de irrigação aplicadas ao longo da condução da pesquisa para os diferentes tratamentos. Observa-se. que nos primeiros 33 DAT as lâminas de irrigação foram iguais para os três tratamentos. Além disso, conforme as plantas foram se desenvolvendo houve uma maior demanda hídrica, sendo necessário uma maior lâmina de irrigação para suprir a mesma.

Figura 15 - Lâminas de irrigação aplicadas ao longo da condução da pesquisa (A) e lâmina total aplicada para cada tratamento (B)



Observa-se, que as lâminas de irrigação aplicadas nos tratamento 1 e 2 apresentaram comportamento semelhante. Contudo, durante o período entre os 93 e 124 DAT as plantas de ambos os tratamentos demandaram mais água, pois nesse período houve maior formação de inflorescências, sendo aplicado uma lâmina de

163,40 e 178,56 mm para os tratamentos 1 e 2, respectivamente. Para o tratamento 3, a maior lâmina aplicada foi no período dos 64 aos 93 DAT (150,83 mm), pois durante esse período as plantas produziram mais inflorescências quando comparado com os tratamentos 1 e 2. Vale ressaltar, que entre os 64 aos 154 DAT as lâminas de irrigação variaram de 134,54 e 150,83 mm.

A demanda hídrica das plantas, dentre elas o lúpulo tem uma relação direta com a transpiração (perda de água para a atmosfera), produção de biomassa e o desenvolvimento foliar (MIDDLETON, 1963; JACKSON; SIEGLE; SCOGGINS, 2019). Desta forma, a medida com que as plantas de lúpulo se desenvolvem há o aumento da transpiração devido a produção de biomassa, área foliar, florescimento e formação das inflorescências acarretando na maior demanda hídrica.

As lâminas de irrigação aplicadas durante o ciclo para os diferentes tratamentos estão apresentadas na Figura 15B. A maior lâmina aplicada correspondeu ao tratamento 3 seguido dos tratamentos 2 e 1, sendo aplicada uma lâmina total de 712,35, 694,97 e 687,47 mm, respectivamente. De acordo com Evans (2003) para atender a demanda hídrica da cultura do lúpulo no Vale Yakima, estado de Washington são necessários de 610 até 712 mm de água, enquanto em Portugal são necessários cerca de 500 mm de água por ciclo (RODRIGUES; MORAIS; CASTRO, 2015). Dessa forma, tem-se que as lâminas obtidas para os tratamentos estão condizentes com o referenciado pela literatura, mesmo sendo esta referência relacionada ao clima de países do hemisfério norte, como o de Yakima (semi-árido quente).

4.3 Uniformidade do sistema de irrigação

A uniformidade do sistema de irrigação, expressa pelos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), Distribuição (CUC) e o Estatístico (CUE) estão apresentando na Tabela 9. Segundo Rodrigues et al. (2013) é fundamental que os irrigantes, por meio dos coeficientes de uniformidade avaliem o desempenho do sistema de irrigação, independentemente do tipo de sistema utilizado.

Tabela 9 - Uniformidade do sistema de irrigação localizada por gotejamento em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP

Tratamento	Antes de iniciar a pesquisa			Término da pesquisa		
	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
1	100	98,51	98,33	100	97,92	97,78
2	100	98,61	98,32	100	97,64	97,46
3	100	98,42	98,27	100	97,33	97,18

Nota-se, que antes de iniciar a pesquisa o CUC foi igual para todos os tratamentos, enquanto o CUD e o CUE apresentaram uma pequena variação, mas se mantiveram em torno de 98%. Ao término da condução da pesquisa, o CUC também foi igual para todos os tratamentos, enquanto o CUD e CUE reduziram em torno de 97% com o aumento do pH da água de irrigação.

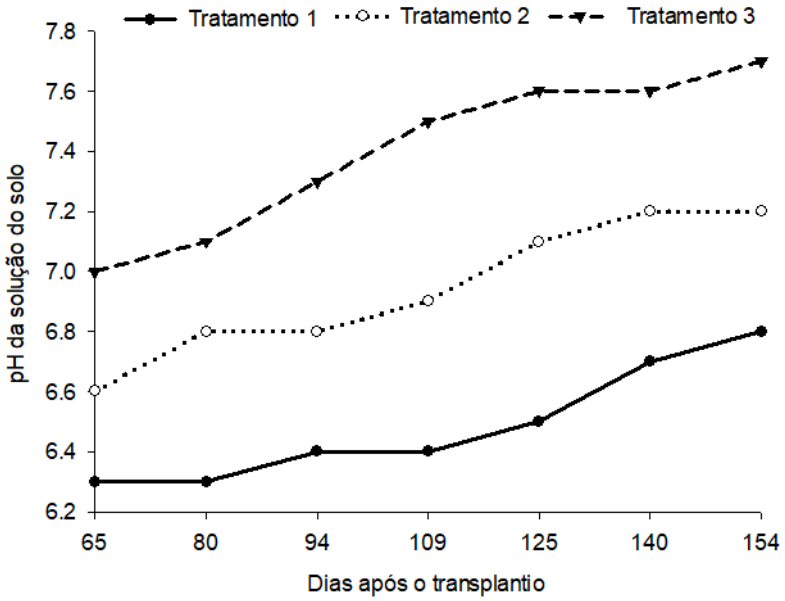
De acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001), para ambos os momentos de avalição, os coeficientes de uniformidade da irrigação obtidos são classificados como excelentes, mostrando que o sistema de irrigação apresentou e manteve boas condições para o seu uso, mesmo com a adição de produtos químicos.

4.4 pH da solução do solo

O pH da solução do solo para os diferentes tratamentos estão apresentados na Figura 16. Diante dos resultados é possível observar que ao longo da condução do experimento o pH da solução do solo aumentou expressivamente para todos os tratamentos, sendo que dos 65 até os 109 DAT esteve dentro das faixas estabelecidas. Entretanto, a partir dos 125 até 154 DAT o pH da solução do solo se manteve acima das faixas estabelecidas para os tratamentos 2 e 3. O mesmo comportamento foi observado no tratamento 1 a partir dos 140 até 154 DAT.

Além disso, salienta-se que em média o pH da solução do solo para todos os tratamentos esteve dentro das faixas estabelecidas para o pH da água de irrigação, sendo de 6,49 (Tratamento 1), 6,94 (Tratamento 2) e 7,40 (Tratamento 3).

Figura 16 - pH da solução do solo em função das diferentes faixas de pH da água



O aumento do pH da solução do solo para os diferentes tratamentos esta atribuída ao uso da solução de hidróxido de sódio (NaOH), já que o hidróxido de sódio é caracterizado quimicamente como uma base forte e que tem como finalidade elevar o pH do meio, por exemplo água, solo e até mesmo da solução do solo (GLANZNER; SILVA, 2010; SILVA, 2012; RIBEIRO, 2018).

O hidróxido de sódio quando entra em contato com a água libera íons de hidróxido (OH^-), os quais são capazes de neutralizar os íons de hidrogênio (H^+). Desta forma, quando se realizaram as irrigações com as diferentes faixas de pH da água, os íons de hidróxido (OH^-) promoveram a dissociação e absorção, ou seja diminuição da concentração dos íons de hidrogênio (H^+) presentes na solução do solo o que implicou na elevação do pH (CAMARGO; ALLEONI; CASAGRANDE, 2001; MONTEIRO, 2005; NOLLA; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2007; NOVAIS; MELO, 2007; DE NOBILE et al., 2010).

O fato de o pH da solução do solo aumentar expressivamente e se manter acima das faixas estabelecidas para os tratamentos pode estar atribuída à predominância e o acúmulo das cargas elétricas negativas (íons de OH^-), uma vez que as irrigações foram realizadas frequentemente. A predominância e o acúmulo desses íons podem elevar ainda mais o pH o que implicaria no desequilíbrio, redução da disponibilidade e na absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas (SILVA et al., 2012a; TAIZ et al., 2017).

Para Carmo (2014) o pH é um parâmetro com grande importância no contexto da fertilidade da solução do solo, pois tem participação direta na concentração de íons, absorção e a disponibilidade de nutrientes (macro e micronutrientes).

Os macronutrientes, como o nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) encontram-se em maior disponibilidade na faixa de 6 a 7, visto que em faixas inferiores a 6 e superiores a 7, a disponibilidade é reduzida. Já os micronutrientes, como o boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) apresentam maior disponibilidade na faixa de 5 a 6,5, pois com o aumento do pH a disponibilidade decresce podendo causar toxidez nas plantas (MEURER, 2007; BRADY; WEIL, 2012; COTTA, 2016). Portanto, os valores de pH próximos da neutralidade promovem uma maior disponibilidade de nutrientes, além de facilitar a absorção pelas raízes das plantas (EMBRAPBA, 2013; COSTA et al., 2019).

4.5 Teor nutricional no tecido foliar vegetal

A avaliação do teor nutricional das plantas com base na análise do tecido foliar vegetal tem sido amplamente utilizada (LANA et al., 2010; BRUN et al., 2012; FERREIRA, 2014; ALVES, 2015; SOUSA, 2016), pois de acordo com Silva et al. (2012b) a folha é o órgão vegetal que mais representa o estado nutricional da planta.

A Tabela 10 apresenta as médias, os desvios padrões e análise de variância para os teores nutricionais presentes nas folhas das plantas de lúpulo em função das diferentes faixas de pH da água de irrigação. Observa-se ainda, que houve diferença significativa apenas para os macronutrientes K e Ca e para os micronutrientes B, Cu e Mn.

Tabela 10 - Média, desvio padrão e os resultados da análise variância (ANOVA) para o teor nutricional presente no tecido vegetal das folhas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP

Nutriente	Tratamento			F calculado	CV(%)
	1	2	3		
N	28,99 ± 4,41	26,03 ± 4,40	28,82 ± 3,87	0,311^{ns}	15,16
P	1,44 ± 0,22	1,55 ± 0,28	1,49 ± 0,39	0,789^{ns}	20,72
K $^{Transf.}$	6,71 ± 0,51	9,28 ± 2,65	7,67 ± 0,75	0,015*	0,68
Ca	31,87 ± 4,68	20,11 ± 4,24	23,86 ± 2,86	2,813e-05*	15,84
Mg	8,77 ± 1,77	6,65 ± 1,25	8,15 ± 2,22	0,075^{ns}	22,86
S $^{Transf.}$	1,07 ± 0,15	1,13 ± 0,32	1,04 ± 0,11	0,683^{ns}	20,24
B $^{Transf.}$	57,06 ± 9,27	34,80 ± 2,39	41,31 ± 5,69	2,529e-06*	3,55
Cu $^{Transf.}$	18,50 ± 6,18	12,00 ± 2,07	26,44 ± 5,11	2,515e-05*	8,37
Fe	244,70 ± 28,88	234,25 ± 21,99	214,82 ±21,58	0,066^{ns}	10,54
Mn	81,42 ± 15,85	74,12 ± 8,39	63,75 ± 7,47	0,016*	15,35
Zn	15,12 ± 3,56	13,57 ± 3,41	15,00 ± 3,74	0,635^{ns}	24,55

Sendo: N – nitrogênio, P – fosforo, K – potássio, Ca – cálcio, Mg – magnésio, S – enxofre, B – boro, Cu – cobre, Fe – ferro, Mn – manganês, Zn – zinco, CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (*p<0,05*); ns – não significativo e Transf. – transformação dos dados.

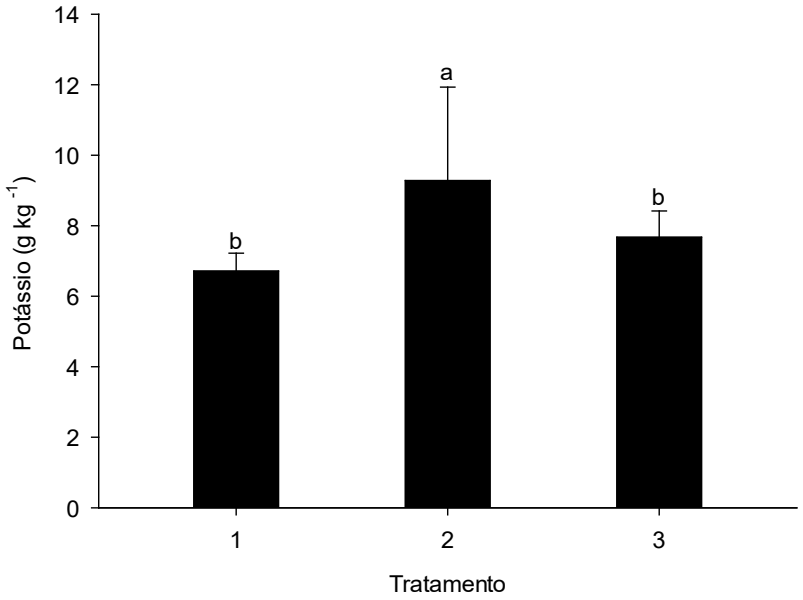
O pH da água promoveu a elevação do pH da solução do solo (Figura 16) que é a principal via para a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas. Portanto, a possível explicação para as diferenças significativas observadas foi a elevação do pH da solução, tendo em vista que a concentração de íons, a disponibilidade e a absorção de nutrientes pelas plantas estão diretamente relacionadas com este parâmetro (CARMO, 2014; TAIZ et al., 2017; MELO et al., 2019).

4.5.1 Macronutrientes

4.5.1.1 Potássio (K)

Os maiores teores foliares de potássio (K) foram encontrados nas plantas do tratamento 2, com uma média de 9,28 g kg^{-1} (Figura 17). Isso indica que houve uma maior absorção desse nutriente quando comparadas com as plantas do tratamento 3 e 1, as quais apresentaram uma média de 6,71 e 7,67 g kg^{-1}, respectivamente.

Figura 17 - Teor de Potássio (K) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O teor de K nos tecidos foliares das plantas de lúpulo é resultado da disponibilidade desse elemento no solo, absorção pelas raízes através da solução do solo na forma de íons de K^+ e da translocação até a parte aérea (ERNANI, ALMEIDA, SANTOS, 2007; SILVA, 2016a; SANTOS; RODRIGUES, 2017).

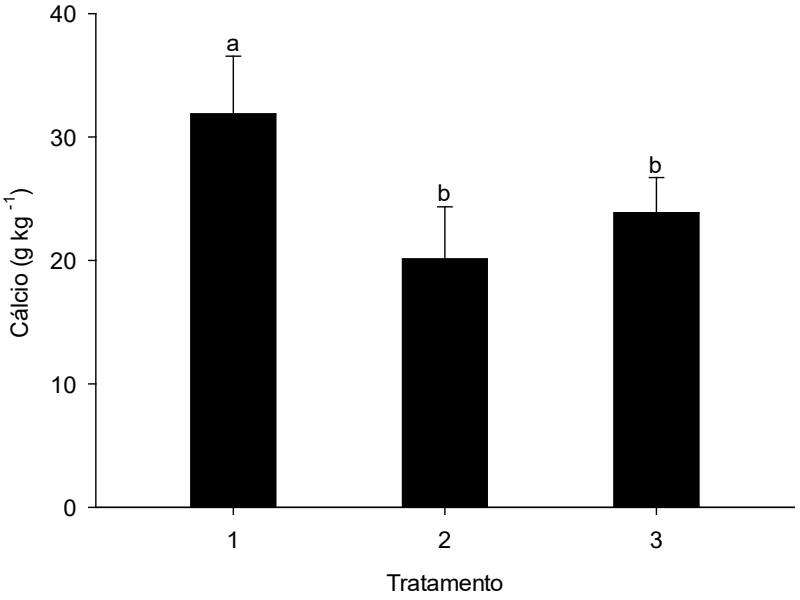
A absorção dos íons de K^+ e acúmulo de K nos tecidos foliares das plantas de lúpulo tende a aumentar quando se realiza irrigações com pH da água na faixa de 6 a 7, contudo a maior absorção e acumulo desse macronutriente nos tecidos foliares se encontra na faixa de 6,5 a 7 (próximo da neutralidade), corroborando com Costa et al. (2019). Enquanto, na faixa de 7 a 7,5 a absorção reduziu, em virtude da competição entre os íons de OH^- com K^+ (MARSCHNER, 1986). De acordo com Malavolta (2006) e Chiodini et al. (2013), altas concentrações de OH^- (pH elevado) inibem a absorção de outros íons resultando na formação de hidróxidos insolúveis e por consequência, deficiência e redução desse elemento no tecido vegetal.

4.5.1.2 Cálcio (Ca)

Verifica-se na Figura 18 que as plantas do tratamento 1 absorveram mais Ca da solução do solo, resultando em um teor médio no tecido foliar de 31,87 g kg^{-1},

enquanto as plantas do tratamento 3 e 2 apresentaram um teor médio de 23,86 e 20,11 g kg^{-1}, respectivamente.

Figura 18 - Teor de Cálcio (Ca) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O cálcio é absorvido pelas plantas por meio da solução do solo na forma de íons de Ca^{+2}. Após a absorção, esses íons são translocados para a parte aérea das plantas, sendo acumulados no tecido vegetal (TAIZ et al., 2017). Segundo Vitti; Lima; Cicarone (2006) o aumento da concentração dos íons de Ca^{+2} na solução do solo resulta no aumento do teor de Ca no tecido vegetal, principalmente nas folhas, pois apresenta baixa mobilidade em outros órgãos vegetais, como os frutos.

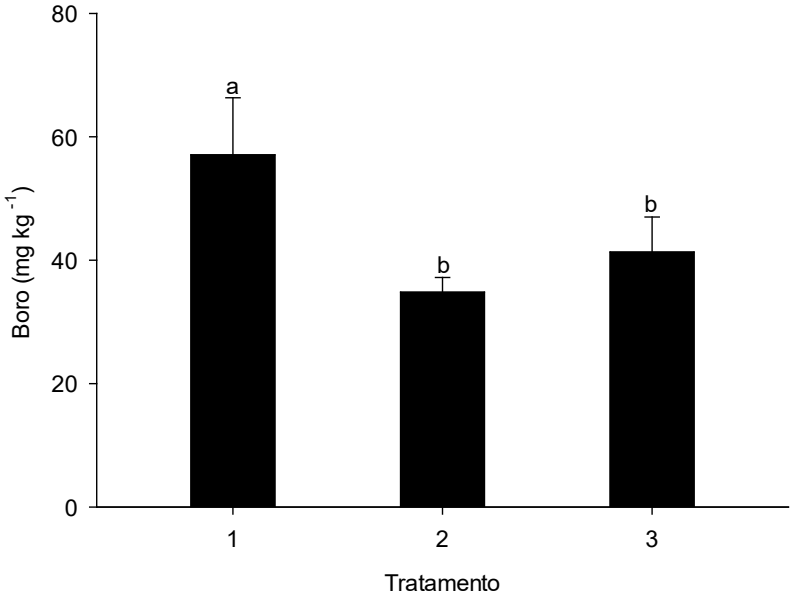
Os resultados obtidos mostraram que a melhor faixa de pH da água para a absorção dos íons de Ca^{+2} e acúmulo de Ca no tecido vegetal das plantas de lúpulo foi de 6 a 6,5, corroborando com Costa et al. (2019), pois com o aumento da faixa de pH, os teores foram reduzidos em até 37%. Ademais, é válido destacar que houve uma relação desproporcional do Ca com o K, pois os maiores teores de Ca foram encontrados nas plantas que apresentaram os menores teores de K. De acordo com Malavolta (2006) a elevada concentração dos íons de Ca^{+2} diminui significativamente a absorção dos íons de K^{+}, pois o Ca^{+2} atua como um “porteiro” limitando a passagem do K^{+} pelo canal da membrana.

4.5.2 Micronutrientes

4.5.2.1 Boro (B)

Os teores de B no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (Figura 19) mostraram que a faixa de pH 6 a 6,5 correspondente ao tratamento 1, promoveu a maior absorção (via solo e foliar) e acúmulo, onde o teor médio foi de 57,06 mg kg^{-1}. Em contrapartida, com o aumento do pH, os teores médios reduziram significativamente.

Figura 19 - Teor de Boro (B) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A maior disponibilidade e absorção de B junto a solução do solo ocorre na forma de ácido bórico (H_3BO_3) não dissociado em condições ácidas (pH entre 5 e 6,5). Após a absorção o H_3BO_3 é translocado por meio da transpiração e acumulado no tecido foliar vegetal (SANTOS, 2013; STURIÃO, 2017; TAIZ et al., 2017).

Com a elevação do pH, a concentração de B na forma de borato ($B(OH)_4$) aumenta ao ponto de causar a adsorção, como também pode haver competição entre os íons de OH^- (em maior concentração) com o $B(OH)_4$ afetando a disponibilidade e absorção pelas plantas (HU; BROWN, 1997; MALAVOLTA, 2006; HERRERA-RODRIGUES et al., 2010).

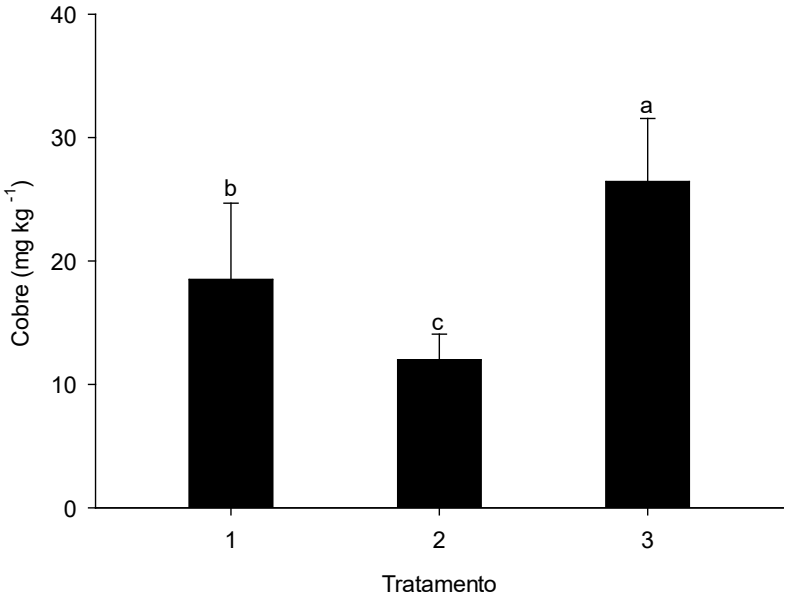
Algumas pesquisas têm mostrado que o B pode ser um micronutriente pouco móvel nas plantas (BASTOS; CARVALHO, 2004; ALVES, 2009; SILVA, 2016b), pois

o seu acúmulo tem sido observado nos tecidos foliares mais velhos (DE SÁ, 2011; MARSCHNER, 2012). Desta forma, aplicações de B via foliar pode ser uma alternativa interessante para promover a maior absorção desse macronutriente nas plantas (SOUZA; CANESIN; BUZETII, 2012).

4.5.2.2 Cobre (Cu)

O pH influenciou no teor de cobre (Cu) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo. Observa-se na Figura 20, que os maiores teores foram encontrados nas plantas do tratamento 3, enquanto para os tratamentos 1 e 2 houve redução nos teores em 30 e 55%, respectivamente.

Figura 20 - Teor de Cobre (Cu) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O Cu é absorvido pelas plantas na forma de íon Cu^{2+} e sua maior disponibilidade na solução do solo é quando o pH se encontra em condições ácidas, mais especificamente na faixa de 5 a 6,5 (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007; TAIZ et al., 2017).

O aumento do pH influencia negativamente na disponibilidade, solubilidade e absorção dos íons de Cu^{2+} (DECHEN; NACHTIGALL, 2006; ABREU; LOPES;

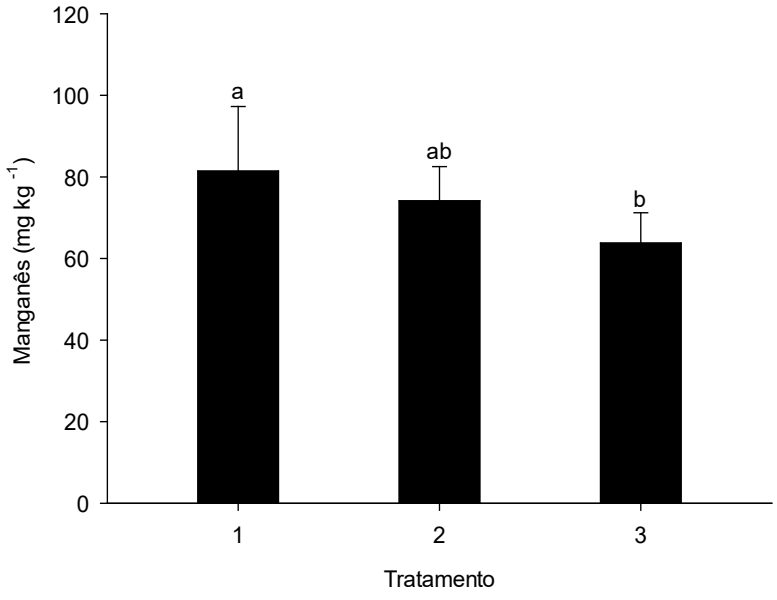
SANTOS, 2007). Porém, Jarvis (1981) ressalta que pode haver exceções quanto a disponibilidade do Cu em condições de pH elevado, entre elas, a presença das cargas negativas (OH^-) na faixa de pH 7 a 7,5 provavelmente não causa a dissociação e adsorção dos íons de Cu^{2+}.

Chaves et al. (2009) salientam que, a disponibilidade de Cu para as plantas tem relação direta com a adsorção, ou seja, quanto menor a adsorção, maior será a disponibilidade deste micronutriente para as plantas. Por esse motivo, houve maior disponibilidade, solubilidade, absorção e acúmulo de Cu no tecido vegetal foliar das plantas de lúpulo do tratamento 3 quando comparado com as plantas do tratamento 1 e 2.

4.5.2.3 Manganês (Mn)

Os teores médios de manganês (Mn) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo diminuíram com o aumento das faixas de pH (Figura 21). O tratamento 1 apresentou os maiores teores médios de Mn (81,42 mg kg^{-1}) e a medida com que as faixas de pH aumentaram (tratamento 2 e 3) houve redução nos teores médios de 9 e 22%, respectivamente.

Figura 21 - Teor de Manganês (Mn) no tecido foliar vegetal das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Segundo Malavolta (2006) o Mn é absorvido pelas plantas predominantemente como íon Mn^{2+}. Esses íons se movimentam livremente na corrente transpiratória onde são acumulados nas raízes, caules e folhas das plantas.

A maior disponibilidade do Mn situa-se na faixa 4 a 6,5, ou seja, condições ácidas (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007; TAIZ et al., 2017). Em contrapartida, condições que tendem a neutralidade (faixa de pH 6,5 a 7) e alcalinidade (7 a 7,5) o íons de Mn^{2+} se tornam insolúveis, afetando a sua disponibilidade (VALADARES et al., 2014).

Desta forma, fica evidente que a disponibilidade de Mn e a absorção dos íons de Mn^{2+} pelas plantas de lúpulo é influenciada pelas faixas de pH, visto que, as maiores faixas resultaram nos menores teores de Mn no tecido foliar vegetal.

4.6 Trocas gasosas

A avaliação das trocas gasosas é de suma importância, sobretudo no que diz respeito a adaptabilidade e a estabilidade das plantas em diferentes ecossistemas. De modo geral, o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas estão relacionados com suas atividades fisiológicas, as quais podem ser influenciadas por fatores bióticos e/ou abióticos.

De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 11), observa-se que houve efeito significativo do pH da água nos seguintes parâmetros fisiológicos: fotossíntese, condutância estomática, taxa de transpiração e eficiência de carboxilação.

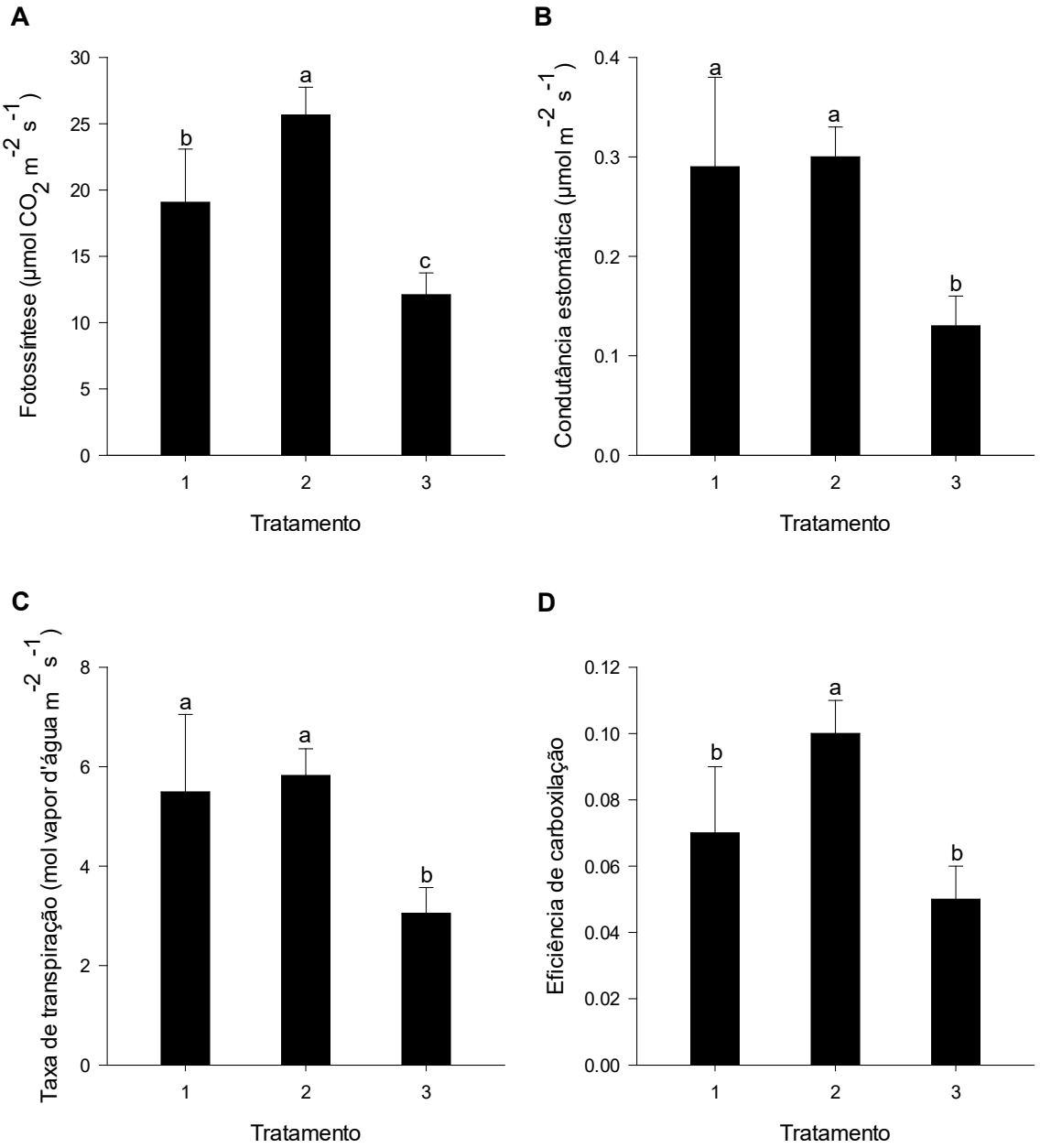
Tabela 11 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) das trocas gasosas das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água – Botucatu – SP

Trocas gasosas	Tratamento			F calculado	CV(%)
	1	2	3		
A	19,06 ± 4,03	25,65 ± 2,10	12,09 ± 1,66	2,13e-06*	14,76
g_s	0,29 ± 0,09	0,30 ± 0,03	0,13 ± 0,03	0,0003*	25,94
C*i*	255,44 ± 36,63	231,61 ± 6,74	222,76 ± 26,75	$0,1205^{ns}$	11,19
$E^{Transf,}$	5,49 ± 1,56	5,82 ± 0,54	3,05 ± 0,52	0,0004*	14,09
EUA,	4,05 ± 1,14	4,61 ± 0,51	4,02 ± 0,38	$0,3385^{ns}$	17,90
$E_iC^{Transf,}$	0,07 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,0001*	19,85

Sendo: *A* – fotossíntese; g_s – condutância estomática; C*i* – concentração interna de CO_2 na folha; *E* – taxa de transpiração; EUA – eficiência do uso de água; E_iC – eficiência de carboxilação; CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (*p<0,05*); ns – não significativo e Transf. – transformação dos dados.

Os parâmetros fisiológicos avaliados estão apresentados na Figura 22. As plantas do tratamento 2 apresentaram maior fotossíntese, seguida do tratamento 1 e 3 (Figura 22A). A condutância estomática (Figura 22B) e a taxa de transpiração (Figura 22C) não apresentaram diferença significativa para os tratamentos 1 e 2, contudo foram superiores ao tratamento 3. O tratamento 2 demostrou a melhor eficiência de carboxilação quando comparado com os tratamentos 1 e 3, os quais não apresentaram diferença significativa (Figura 22D).

Figura 22 - (A) Fotossíntese (*A*), (B) condutância estomática (g*s*), (C) taxa de transpiração (*E*), e (D) eficiência de carboxilação (EiC) das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A eficiência de carboxilação é a razão entre a fotossíntese e a concentração interna de CO_2. Assim, a capacidade fotossintética das plantas do tratamento 2 foi mais eficiente, em virtude da maior utilização do carbono disponível para a realização da fotossíntese.

Aighewi; Ekanayake (2004) afirmam que as trocas gasosas podem ser influenciadas por diversos fatores, dentre eles a posição da folha, fase fenológica, umidade, temperatura, disponibilidade de água e teor nutricional das plantas, principalmente pelo teor de potássio (K).

O potássio é considerado um dos macronutrientes mais importantes para o desenvolvimento das plantas, atuando nos principais processos metabólicos, como o mecanismo que controla a condutância estomática (g_s), que afeta diretamente a capacidade fotossintética das plantas (ASSMANN; SHIMAZAKI, 1999; SCHROEDER et al., 2001; ROELFSEMA; HEDRICH, 2005; ALQUINI et al., 2013; ANDRÉS et al., 2014).

No presente estudo, foi verificado que quanto maior o teor de potássio no tecido foliar vegetal, maior foi a capacidade fotossintética das plantas (tratamento 2). Jin et al. (2011) afirmam que o potássio desempenha uma importante função na capacidade fotossintética das plantas. Esse efeito foi constatado por Sangakkara et al. (2001); Cakmak (2005); Prado (2008); Jia et al. (2008); Catuchi et al. (2012).

Por outro lado, a redução da capacidade fotossintética dos tratamentos 1 e 3 estão relacionados com os menores teores de potássio e dos elevados teores de Cu e Zn nas folhas. Teores elevados de Cu e Zn na planta afetam as trocas gasosas, causando decréscimo da atividade fotossintética, que afetam diretamente o desenvolvimento das plantas devido à baixa eficiência de carboxilação (MATEOS-NARANJO et al., 2008; CAMBROLLÉ et al., 2013; 2015; ADREES et al., 2015; MARQUES, 2016).

4.7 Parâmetros de crescimento

A avaliação dos parâmetros de crescimento vegetal é uma ferramenta que descreve as condições morfofisiológicas das plantas. Por meio desta avaliação é possível conhecer e acompanhar a dinâmica entre a capacidade fotossintética e o desenvolvimento das plantas, como também, pode ser utilizada no estudo do efeito

de diferentes condições de cultivo e na influência de práticas agronômicas que podem afetar o crescimento das plantas.

A Tabela 12 apresenta a média, desvio padrão e a análise de variância dos parâmetros de crescimento das plantas de lúpulo. Observa-se, que as faixas de pH da água influenciaram significativamente na altura de planta, não sendo observado o mesmo efeito para o diâmetro do caule e área foliar.

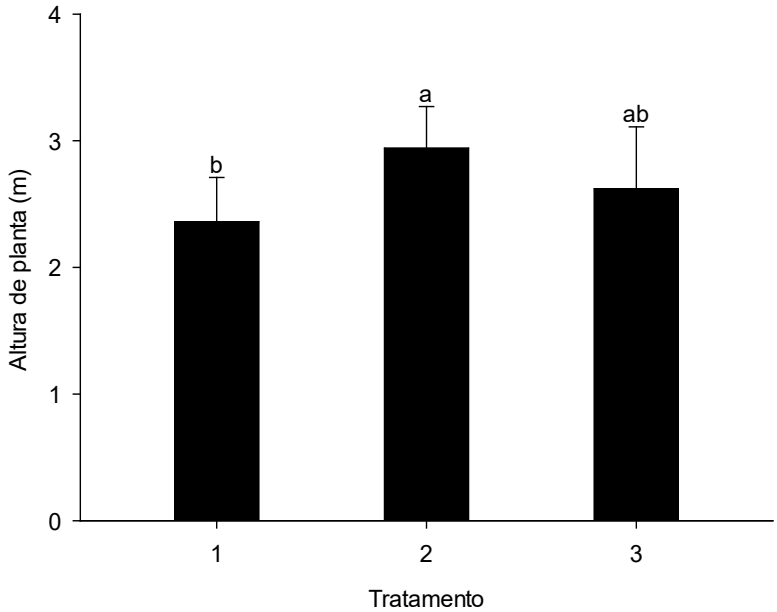
Tabela 12 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) para altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF) das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP

Tratamento	AP	DC	AF
1	2,36 ± 0,35	18,12 ± 1,80	1631,79 ± 202,48
2	2,94 ± 0,33	18,50 ± 0,53	1786,72 ± 200,24
3	2,62 ± 0,49	18,37 ± 1,06	1782,85 ± 336,23
F calculado	0,0286*	$0,8396^{ns}$	$0,3972^{ns}$
CV (%)	15,16	7,01	14,67

Sendo: CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (*p<0,05*); ns – não significativo e Transf. – transformação dos dados.

Para a variável altura de planta, observa-se na Figura 23, que o tratamento 2 apresentou a maior média. Já para os tratamentos 3 e 1, foi observada uma redução na altura de 11 e 20%, respectivamente em relação ao tratamento 2.

Figura 23 - Altura de planta (AP) de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas podem ser influenciados pelas condições nutricionais, seja pela ausência ou pelas altas concentrações (MUNNS, 2002). Catuchi et al. (2012) constataram que a suplementação com potássio melhorou os parâmetros fisiológicos. Deste modo, a melhor atividade fotossintética das plantas de lúpulo v. Cascade submetidas ao tratamento 2 pode estar relacionada com os maiores teores de K no tecido vegetal foliar.

Ademais, Taiz & Zeiger (2013) afirmam que a fotossíntese (*A*) converte a energia solar em energia química, que é utilizada para a manutenção e crescimento das plantas, ou seja, o aumento da taxa fotossintética favorece o crescimento dos vegetais. Com base nisso, a melhor atividade fotossintética das plantas de lúpulo v. Cascade submetidas ao tratamento 2 (Figura 22A) promoveu as maiores médias para a altura de plantas.

Segundo Carmo et al. (2011), o decréscimo na produção de fotoassimilados é diretamente influenciada pela menor absorção e translocação dos nutrientes, que consequentemente reduz o crescimento das plantas.

Neste contexto, as diferentes faixas de pH da água influenciaram na disponibilidade e absorção dos nutrientes, reduzindo o teor de potássio no tecido vegetal foliar, comprometendo as atividades fotossintéticas, as quais implicaram no menor crescimento das plantas quando comparado com o tratamento 2.

4.8 Parâmetros de biomassa

O crescimento das plantas depende da biomassa acumulada pelos processos fotossintéticos. Em plantas com boa disponibilidade de água e nutrientes, a produção de biomassa tende a ser proporcional à fotossíntese, ou seja, quanto maior as atividades fotossintéticas, maior será o acúmulo de biomassa.

Para o estudo do acúmulo de biomassa, avaliou-se os parâmetros relacionados a matéria seca e fresca do caule e das folhas. A análise de variância (Tabela 13) indica que as faixas de pH da água influenciaram na massa fresca (MFC) e seca (MSC) do caule das plantas de lúpulo.

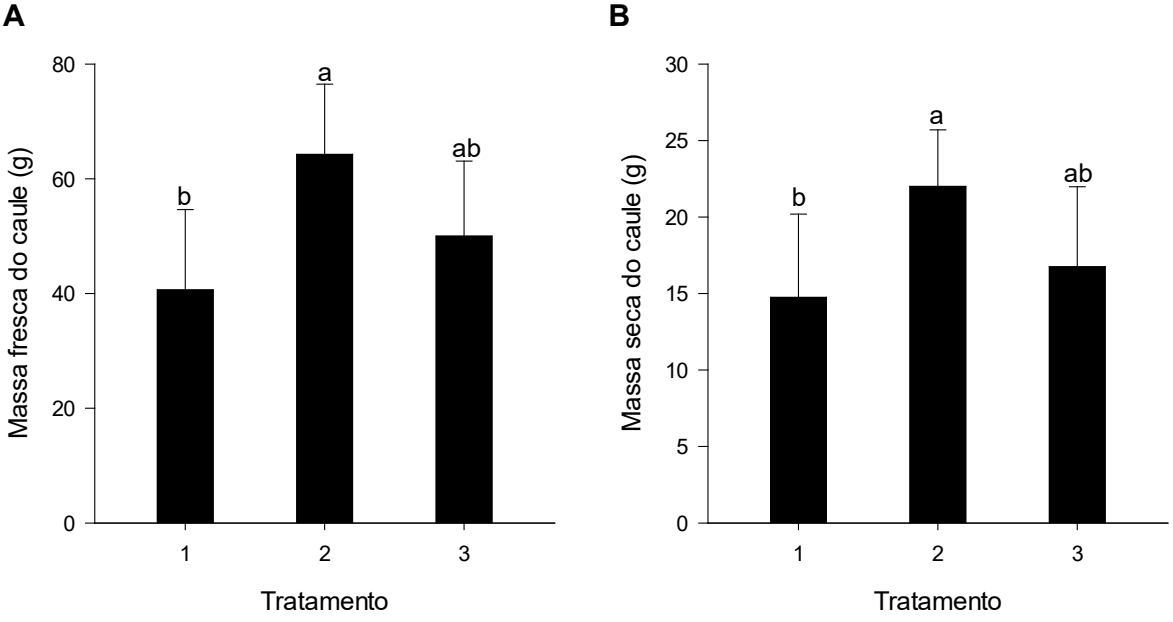
Tabela 13 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) para os parâmetros de biomassa das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água de irrigação - Botucatu - SP

Parâmetros	Tratamento			F calculado	CV(%)
	1	2	3		
MFC	40,62 ± 14,02	64,25 ± 12,25	50,00 ± 13,09	0,0061*	25,46
MSC	14,75 ± 5,44	22,00 ± 3,70	16,75 ± 5,23	0,0197*	27,22
MFF	30,03 ± 4,35	33,98 ± 6,74	30,76 ± 7,81	$0,4431^{ns}$	20,47
MSF	12,27 ± 2,04	15,75 ± 5,33	13,24 ± 3,53	$0,2040^{ns}$	28,19

Sendo: MFC – massa fresca do caule; MSC – massa seca do caule; MFF – massa fresca da folha; MSF – massa seca da folha; CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (*p<0,05*); ns – não significativo.

Observa-se na Figura 24A e B, que as plantas de lúpulo submetidas ao tratamento 2 apresentaram o maior ganho de biomassa (massa fresca e seca do caule) em resultado da maior disponibilidade, absorção de nutrientes e da taxa fotossintética. Por outro lado, as plantas do tratamento 1 e 3 responderam negativamente a imposição das faixas de pH.

Figura 24 - Massa fresca do caule (A) e massa seca do caule (B) das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água de irrigação



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A menor quantidade de matéria fresca e seca (biomassa) é resultado da menor taxa fotossintética das plantas, causada pelo fechamento estomático. Desta forma, a menor taxa fotossintética pode reduzir a quantidade de fotoassimilados, e por consequência o acúmulo de matéria seca nos diferentes tecidos vegetais da planta

(TOMBESI et al., 2015). A produção de biomassa está intimamente relacionada com e eficiência de carboxilação (EVANS, 2013). Como observado nos resultados de trocas gasosas, a maior eficiência de carboxilação proporcionou a maior produção de biomassa.

Com base nos resultados obtidos, o adequado suprimento e absorção de nutrientes pelas plantas, promove o aumento na capacidade fotossintética, na eficiência de carboxilação e no processo fotoquímico, resultando no maior incremento de biomassa das plantas (DOMINGUES et al., 2010; WARREN, 2011).

4.9 Índices de crescimento

Por meio dos índices de crescimento, é possível conhecer as condições morfofisiológicas, a quantidade de material vegetal produzido pelos diferentes órgãos vegetais, bem como, a participação dos mesmos no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Através da análise de variância (Tabela 14), nota-se que não houve efeito significativo das diferentes faixas de pH da água sob os índices de crescimento das plantas de lúpulo v. Cascade.

Tabela 14 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) para os índices de crescimento das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP

Tratamento	RAF	AFE $^{Transf.}$	RPF
1	62,30 ± 13,36	133,83 ± 7,94	0,46 ± 0,10
2	51,07 ± 10,96	126,02 ± 20,88	0,41 ± 0,08
3	64,04 ± 11,36	146,96 ± 30,95	0,44 ± 0,07
F calculado	$0,0849^{ns}$	$0,1830^{ns}$	$0,4811^{ns}$
CV (%)	20,19	3,38	20,49

Sendo: RAF – razão de área foliar; AFE – área foliar especifica; RPF – razão de peso das folhas; CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo ($p<0,05$); ns – não significativo e Transf. – transformação dos dados.
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de significância.

4.10 Perda de eletrólitos

A avaliação da perda de eletrólitos no tecido foliar vegetal tem sido utilizada para expressar a adaptação das plantas em diferentes condições de cultivo (ZHAO et al, 2009). Com base na análise de variância (Tabela 15) foi constatado que as faixas de pH da água não causaram efeito significativo para a perda de eletrólitos. Contudo, houve diferença significativa entre as épocas de avaliação.

Tabela 15 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de perfil via análise de variância (ANOVA) univariada para medidas repetidas para a perda de eletrólitos das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP

Tratamento	Época		Média
	94 DAT	133 DAT	
1	37,25 ± 21,55	22,75 ± 5,39	30,01 a
2	36,11 ± 18,22	20,64 ± 3,12	28,38 a
3	40,13 ± 10,07	24,05 ± 5,88	32,09 a
Média	37,84 a	22,49 b	-
	F calculado		
Tratamento	$0,8649^{ns}$	-	-
Época de avaliação	0,0104*	-	-
Tratamento:Momento	$0,9908^{ns}$	-	-

Sendo:* – significativo (*p<0,05*) e ns – não significativo.
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de significância.

Conforme apresentado na Tabela 15, houve uma maior perda de eletrólitos das plantas aos 94 DAT. Essa perda pode estar relacionada com a temperatura do ar, pois nesse período foi registrado altas temperaturas no interior da casa de vegetação. As plantas apresentaram uma redução de 41% da perda de eletrólitos aos 133 DAT, mostrando que as plantas conseguiram se adaptar as condições experimentais.

Segundo Wijewardana et al. (2016), a permeabilidade da membrana celular é modificada pela ruptura da mesma, havendo maiores perdas eletrolíticas e, consequentemente, implicando na mortalidade das células. Deste modo, as maiores perdas eletrolíticas são resultado da menor adaptabilidade das plantas nas condições experimentais adotadas.

A variação na permeabilidade da membrana celular é resultado da menor adaptação das plantas ao ambiente de cultivo (LU; HU; LI, 2017). Neste contexto, pode-se afirmar que as plantas de lúpulo v. Cascade desenvolveram maior capacidade de adaptação as condições experimentais estudadas, já que houve menores perdas eletrolíticas na segunda época de avaliação (133 DAT).

4.11 Teor de pigmentos foliares

O estudo do teor de pigmentos foliares baseado nas clorofilas *a* e *b* e nos carotenoides totais permite conhecer as condições, bem como a integridade das células durante o processo fotossintético das plantas (SILVA et al., 2014). Além disso, Dias et al. (2016) descrevem que o teor de pigmentos tem ligação direta com o crescimento e adaptação das plantas.

4.11.1 Clorofila *a*

A análise de variância apresentada na Tabela 16, constatou que não houve efeito significativo das faixas de pH da água para a clorofila *a* em nenhuma das épocas de avaliação.

Tabela 16 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de perfil via análise de variância (ANOVA) univariada para medidas repetidas para a clorofila a das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP

Tratamento	Época		Média
	94 DAT	133 DAT	
1	16,17 ± 4,42	16,23 ± 3,16	16,21 a
2	18,71 ± 4,12	14,95 ± 2,51	16,83 a
3	17,12 ± 0,88	15,30 ± 4,45	16,22 a
Média	17,34 a	15,50 a	-
	F calculado		
Tratamento	0,9326^{ns}	-	-
Época de avaliação	0,1835^{ns}	-	-
Tratamento:Momento	0,4999^{ns}	-	-

Sendo: * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo.
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de significância.

4.11.2 Clorofila *b*

A análise de variância apresentada na Tabela 17, constatou que não houve efeito significativo das faixas de pH da água para a clorofila *b*. Porém, houve diferença significativa entre épocas de avaliação.

Tabela 17 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de perfil via análise de variância (ANOVA) univariada para medidas repetidas para a clorofila b das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP

Tratamento	Época		Média
	94 DAT	133 DAT	
1	7,23 ± 3,05	6,05 ± 2,72	6,64 a
2	11,21 ± 4,76	5,58 ± 1,03	8,40 a
3	8,51 ± 1,33	6,19 ± 1,99	7,35 a
Média	8,98 a	5,95 b	-
	F calculado		
Tratamento	$0,5628^{ns}$	-	-
Época de avaliação	0,0096*	-	-
Tratamento:Momento	$0,1824^{ns}$	-	-

Sendo: * – significativo (*p<0,05*) e ns – não significativo.
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de significância.

Segundo Streit et al. (2005), as clorofilas *b* são pigmentos que auxiliam na absorção de luz, transferência de energia radiante para o centro de reação, comumente conhecida como pigmento assessório.

O teor de pigmentos foliares é influenciado por diversos fatores, assim a quantidade e as proporções relativas de pigmentos podem variar com a espécie, ambiente, condições de cultivo e a idade da planta (PEREIRA et al., 2016). Deste modo, a redução do teor de clorofila *b* entre as épocas avaliadas pode estar atribuída a idade das plantas de lúpulo, visto que a atividade metabólica reduz com a idade dos tecidos vegetais.

4.11.3 Carotenóides totais

Observa-se pela análise de variância apresentada na Tabela 18, que não houve efeito significativo das faixas de pH da água para os carotenoides totais. Contudo, foi observado diferença significativa entre as épocas de avaliação.

Tabela 18 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de perfil via análise de variância (ANOVA) univariada para medidas repetidas para os carotenóides totais das plantas de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP

Tratamento	Épocas		Média
	94 DAT	133 DAT	
1	4,44 ± 1,14	4,18 ± 1,05	4,32 a
2	5,45 ± 1,42	3,88 ± 0,69	4,67 a
3	4,71 ± 0,40	3,89 ± 1,03	4,30 a
Média	4,87 a	3,99 b	-
	F calculado		
Tratamento	0,7504^{ns}	-	-
Época de avaliação	0,0458*	-	-
Tratamento:Momento	0,4051^{ns}	-	-

Sendo: * – significativo ($p<0,05$) e ns – não significativo.
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5% de significância.

Os carotenoides são caracterizados como pigmentos de coloração amarela ou alaranjada, estão localizados nas lamelas dos cloroplastos, tem estreita associação com as clorofilas *a* e *b*, atuando na transferência de energia para as mesmas (TAIZ; ZEIGER, 2013; TAIZ et al., 2017).

Semelhantemente aos teores de clorofila *b*, a redução dos teores de carotenoides entre os momentos pode estar diretamente relacionada com a idade dos tecidos foliares vegetais das plantas de lúpulo (PEREIRA et al., 2016).

4.12 Produtividade

A produtividade das plantas de lúpulo está fortemente associada à diversos fatores, tais como: qualidade das mudas e/ou sementes, técnicas de manejo do solo e da água, condições climáticas, finalidade e, principalmente da variedade cultivada.

Com base nos resultados da análise de variância (Tabela 19), observa-se que houve efeito significativo das faixas de pH da água sob a produtividade por planta (g planta $^{-1}$).

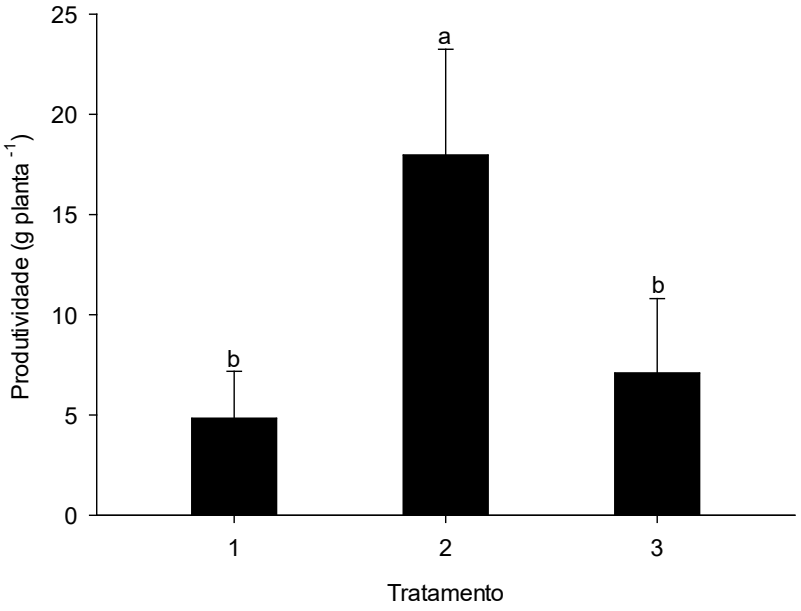
Tabela 19 - Média, desvio padrão e os resultados da análise de variância (ANOVA) para a produtividade (Prod.) por planta de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água - Botucatu - SP

Tratamento	Prod. ^{Transf}
1	4,83 ± 2,35
2	17,96 ± 5,29
3	7,09 ± 3,72
F calculado	1,568e-05*
CV (%)	25,55

Sendo: CV – coeficiente de variação experimental; * – significativo (*p<0,05*); ns – não significativo e Transf. – transformação dos dados

Observa-se na Figura 25, que a maior produtividade obtida foi para as plantas submetidas ao tratamento 2, com uma média de 17,96 g planta^{-1}. Para os tratamentos 3 e 1 não houve diferença significativa entre ambos, porém houve uma redução na produtividade de 61 e 73%, respectivamente quando comparado com o tratamento 2.

Figura 25 - Produtividade de cones por planta em função das diferentes faixas de pH da água



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fagherazzi et al. (2018) afirmam que no primeiro ano de cultivo, a produtividade das plantas de lúpulo é inferior a 2 kg, a qual apresenta tendência de aumento com o passar dos anos, em virtude, da adaptação e do crescimento dos rizomas. Mas, é pertinente destacar que a produtividade no primeiro ano pode ser ainda menor

dependendo da variedade utilizada, pois os cones apresentam variação quanto ao tamanho e a massa.

De acordo com Spósito et al. (2019), a variedade Cascade pode apresentar uma produção de aproximadamente 2500 kg ha^{-1} (1225 g $planta^{-1}$), porém essa produção é diretamente proporcional a idade da planta e as condições de cultivo impostas, o que de fato foi evidenciado por Nakawuka et al. (2017), os quais constaram que no ano de 2012 a produtividade das variedades estudadas aumentaram em relação ao ano de 2011.

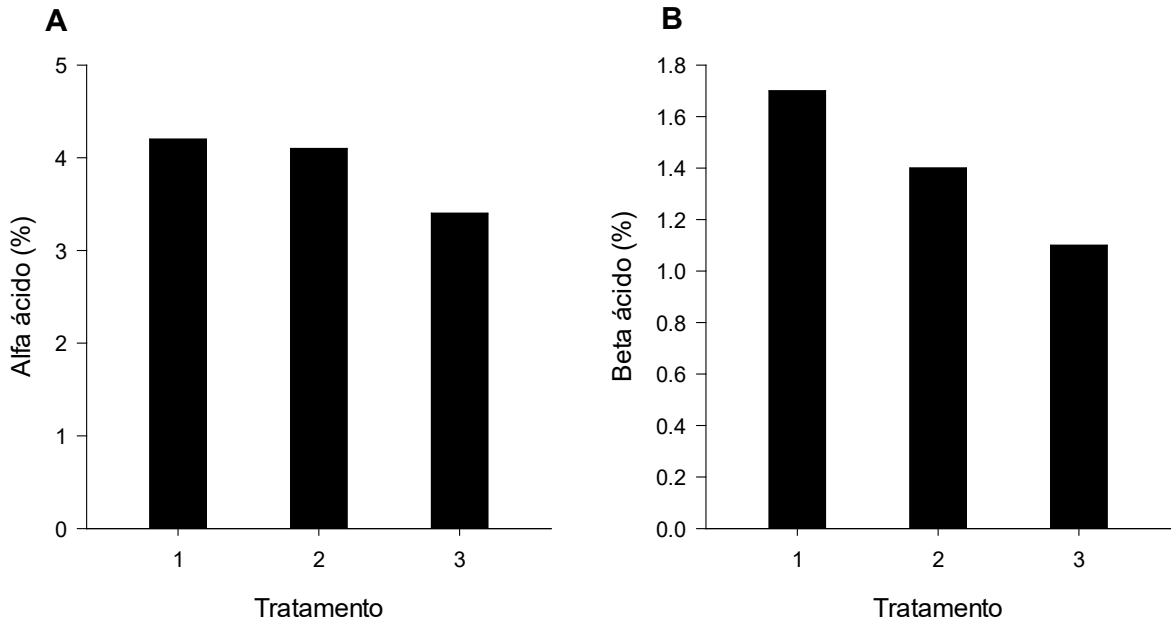
Nesta pesquisa, as faixas de pH da água influenciaram na disponibilidade e absorção de alguns macro e micronutrientes, taxa fotossintética, no crescimento e na produção de biomassa das plantas de lúpulo v. Cascade e, consequentemente influenciou na produtividade final.

4.13 Compostos

Os compostos, alfa e beta-ácidos presentes nas inflorescências femininas (cones) são a principal matéria-prima do lúpulo (SILVA, 2019). Esses compostos são utilizados pelas indústrias alimentícias, farmacêuticas e cosmética para a produção de cervejas, tratamento de doenças e fabricação de cremes e condicionadores, dentre outras finalidades.

As faixas de pH da água causaram efeito sobre os teores de alfa e beta-ácidos nos cones de lúpulo. Observa-se na Figura 26A, que os teores de alfa-ácidos para os tratamentos 1 e 2 foram semelhantes e superiores aos obtidos no tratamento 3. Já para os beta-ácidos (Figura 26B), os maiores teores foram observados no tratamento 1, enquanto para os tratamentos 2 e 3 houve redução de 18 e 35% quando comparado com o tratamento 1.

Figura 26 - Concentrações de alfa (A) e beta-ácidos (B) nos cones de lúpulo (v. Cascade) em função das diferentes faixas de pH da água



Os resultados obtidos foram superiores aos encontrados por Silva (2019). No referido estudo, os teores de alfa e beta-ácidos para a variedade Cascade foram de 1,83 e 1,25%, respectivamente.

De acordo com Spósito et al. (2019), os teores de alfa e beta-ácidos presentes nos cones da variedade Cascade podem ser de aproximadamente 4,5 a 7%, respectivamente. Entretanto, as informações à respeito da quantidade de alfa e beta-ácidos presentes nos cones das plantas de primeiro ano, não só da variedade Cascade, mas sim das demais variedades cultivadas ainda são escassas na literatura.

De acordo com Krofta; Kučera (2009), o teor de alfa-ácido apresenta variação de um ano para o outro, ou seja, com a idade da planta. Neste sentido, em um estudo realizado no Vale Yakima, estado do Washington por Nakawuka et al. (2017), foi observado que no ano de 2012 houve incremento nos teores de alfa e beta-ácidos para a variedade Chinook em relação ao ano de 2011. Os autores ainda observaram, que não houve diferença significativa para os compostos em função dos níveis de irrigação (60, 80 e 100%).

Desta forma, pode-se aferir que a idade da planta é um fator que certamente influencia na quantidade de alfa e beta-ácidos, além disso, um possível estresse ou condição de cultivo, por exemplo, pH da água na faixa 6 a 6,5 pode favorecer a produção desses compostos.

5 CONCLUSÕES

- O cultivo de lúpulo (v. Cascade) foi influenciado pelas diferentes faixas do potencial hidrogenionico (pH) da água;
- O pH da solução do solo foi influenciado pelas diferentes faixas de pH da água de irrigação;
- Plantas de lúpulo submetidas ao tratamento 3 (pH 7 a 7,5) apresentaram os maiores teores de Cu no tecido foliar vegetal;
- A faixa de pH da água 6,5 a 7 promove maior disponibilidade e absorção junto a solução do solo, e posteriormente maior acúmulo de potássio (K) no tecido foliar vegetal;
- As plantas de lúpulo quando irrigadas com a faixa de pH da água 6,5 a 7 apresentam maior taxa fotossintética, altura de planta, produção de biomassa (MFC e MSC) e produtividade;
- Os valores preliminares de alfa e beta-ácidos foram maiores nas plantas irrigadas com o pH da água na faixa 6 a 6,5;
- A adaptabilidade das plantas ao microclima do ambiente protegido e as condições experimentais aumentou com a condução da pesquisa;
- A clorofila *b* e carotenoides totais tendem a diminuir com a idade do tecido vegetal foliar, ou seja, da planta.

REFERÊNCIAS

ABRAM, V.; ČEH, B.; VIDMAR, M.; HERCEZI, M.; LAZIĆ, K.; BUCIK, V.; MOŽINA, S. S.; KOŠIR, J. I.; KAČ, M.; DEMŠARA, L.; ULRIH, N. P. A comparison of antioxidant and antimicrobial activity between hop leaves and hop cones. **Industrial Crops and Products.** v. 64, p. 124-134, 2015.

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 11. p. 645-736.

ADREES, M.; ALI, S.; RIZWAN, M.; IBRAHIM, M.; ABBAS, F.; FARID, M.; ZIA-UR-REHMAN, M.; IRSHAD, M. K.; BHARWANA, S. A. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 11, p. 8148-8162, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil** Brasília, DF: Agência Nacional de Águas – ANA, 2019.

AGHAMIRI, V., MIRGHAFOURVAND, M., MOHAMMAD-ALIZADEH-CHARANDABI, S., NAZEMIYEH, H. The effect of Hop (*Humulus lupulus* L.) on early menopausal symptoms and hot flashes: A randomized placebo-controlled trial. **Complementary Therapies in Clinical Practice**. v. 23, p. 130-135, 2016.

AIGHEWI, B. A., EKANAYAKE I. J. In-situ chlorophyll fluorescence and related growth of white Guinea yam at different ages. **Tropical Science**, v. 44, n. 4, p. 201–206, 2004.

ALMAGUER, C.; SCHÖNBERGER, 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.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. 1. ed. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ALMEDIA, P. L. M. R. **Estudo da síntese de um análogo de alfa-ácido presente em lúpulo e correlação do comportamento eletroanalítico com o amargor da cerveja**. 2019. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

ALONSO-ESTEBANAN, J. I.; PINELA, J.; BARROS, L.; ĆIRIĆ, A.; SOKOVIĆ, M.; CALHELHA R. C.; TORIJA-ISASA, E.; SÁNCHEZ-MATA, M. C.; FERREIRA, I. C. F. R. Phenolic composition and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties of hop (*Humulus lupulus* L.) seeds. **Industrial Crops & Products**, v. 134, p. 154–159, 2019.

ALQUINI, Y. *et al*. Epiderme. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia Vegetal.** 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. cap. 3. p. 85-104.

ALVARENGA, C. B.; TEIXEIRA, M. M.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; SIQUEIRA, D. L.; RODRIGÊS, D. E.; SSAKI, R. S.; RINALDI, P. C. N. Efeito do déficit de pressão de vapor d'água no ar na pulverização hidropneumática em alvos artificiais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 30, n. 1, p. 182-193, 2014.

ALVES, A. U. **Absorção e mobilidade do boro em plantas de repolho e de couve-flor.** 2009. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

ALVES, E. R. **Amostragem foliar para a avaliação nutricional do guaranazeiro.** 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências Agrárias, Manaus, 2015.

ALVES, F. C. **Influência da rega na produtividade e na qualidade da produção do lúpulo (*Humulus lupulus* L.), variedade Nugget, na região da Galiza**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agronômica) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.

ANDRÉS, Z.; PÉREZ-HORMAECHE, J.; LEIDI, E. O.; SCHLÜCKING, K.; STEINHORST, L.; MCLACHLAN, D. H.; SCHUMACHER, K.; HETHERINGTON, A. M.; KUDLA, J.; CUBERO, B.; PARDO, J. M. Control of vacuolar dynamics and regulation of stomatal aperture by tonoplast potassium uptake**. Proc. Natl. Acad. Sci.**, v. 111, n.17, p. 1806-1814, 2014.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination for water and wastewater**. 22. ed. Washington, DC: APHA-AWWAWEF, 2012.

AQUINO, A. M. *et. al*. **Referencial Técnico de Atratividade Agropecuária – Lúpulo**. Nova Friburgo, RJ: Embrapa, 2019.

ASSMANN S.M., SHIMAZAKI K. The multisensory guard cell, stomatal responses to blue light and abscisic acid**. Plant Physiologyv**, v. 119, n. 3, p.809–815, 1999

BASTOS, A. R. R.; CARVALHO, J. G de. Absorção radicular e redistribuição do boro pelas plantas, e seu papel na parede celular. **Revista Universidade Rural**: Série Ciências da Vida, v.24, n.2, p.47-66, 2004.

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.

BEATSON, A.; KENNY, S. T.; PETHYBRIDGE, S. J.; GENT, D. H. Hop Production. In: MAHAFFER, W. F.; PETHYBRIDGE, S. J.; GENT, D. H. **Compendium of hop diseases and pests.** St. Paul: American Phytopathological Society, 2009. cap. 1. p. 5-8.

BERNERT, A. F. **Diversidade genética de acessos via ISSR e identificação do sexo de "seedlings" de lúpulo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

BLANCO, F. F. **Manual de construção e utilização de extratores de cápsula porosa para obtenção da solução do solo.** Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2006. 36p. (Circular Técnica, 142).

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 iyd bioactivity, and its biotechnology. **Phytochemistry Reviews,** v. 17, n. 11, p. 1 - 44, 2018.

BOHR, G.; KLIMO, K.; ZAPP, J.; BECKER, H.; GERHÄUSER, C. Cancer chemopreventive potential of humulones and Isohumulones (Hops α- and Iso-α-acids): Induction of NAD(P)H: Quinone reductase as a novel mechanism. **Natural Product Communications**, v. 3, n. 12, p. 1971-1976, 2008.

BORTOLUZZI, C.; MENTEN, J. F. M.; ROMANO, G. G.; PEREIRA, R.; NAPTY, G. S. Effect of hops β-acids (*Humulus lupulus*) on performance and intestinal health of broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 23, n. 3, p. 437–443, 2014.

BRADY, N. C; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de controle da qualidade de água para técnicos que trabalham em ETAS.** Brasília, DF: Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde – Funasa, 2014.

BRUN, E. J.; ROSA, S. F.; ROPPA, C.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, F. G. K. Avaliação nutricional de espécies nativas utilizadas na arborização do campus da Universidade federal de Santa Maria - RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, SP, v.7, n.1, p. 89-111, 2012.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, n. 4, p.521-530, 2005.

CAMBROLLÉ, J.; GARCIA, J. L.; OCETE, R.; FIGUEROA, M. E.; CANTOS, M. Growth and photosynthetic responses to copper in wild grapevine. **Chemosphere**, v. 93, n. 2, p. 294-301, 2013.

CAMBROLLÉ, J.; GARCÍA, J. L.; FIGUEROA, M. E.; CANTOS, M. Evaluating wild grapevine tolerance to copper toxicity. **Chemosphere**, v. 120, n. 1, p. 171-178, 2015.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Reações dos Micronutrientes e Elementos Tóxicos no Solo. In: FERREIRA, M. E. et al. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal, SP: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. cap. 5. p. 89-124.

CARMO, G.A.; OLIVEIRA, F.R.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, F.A.; CAMPOS, M.S.; FREITAS, D.C. Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n.5, p.512–518, 2011.

CARMO, D. L. **Condutividade elétrica e sua relação com a fertilidade de solos tratados com corretivos e resíduos orgânicos.** 2014. Tese (Doutorado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CARVALHO, V. P. **Zoneamento agroclimático da cultura de lúpulo para o estado do Rio de Janeiro: uma aplicação da lógica Fuzzy.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biossistemas) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZI, K. A.; BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.47, n.4, p.519-527, 2012.

CHAVES, L. H. G.; BRITO, M. E. B.; CARVALHO, A. P.; DANIEL, R.; RIBEIRO, S.; SANTOS, R. T. Adsorção de cobre em amostras de Plintossolo do Estado do Piauí, com diferentes características. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campo Grande, PB, v. 13, n. 3, p. 226-232, 2009.

CHIODINI, B. M.; SILVA, A. G.; NEGREIROS, A. B.; MAGALHÃES, L. B. Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas. **Cultivando o saber**, Cascavel, PR, v. 6, n. 1, p. 181-190, 2013.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling**. California Agricultural Experimente Station Bulletin**,**1942.

CORNELISON, J. M.; FENGLONG, Y.; WATKINS, S. E.; RIGBY, L. Evaluation of hops (*Humulus lupulus*) as an antimicrobial in broiler diets. **International Journal of Poultry Science,** v. 5, n. 2. p. 134-136, 2006.

COSTA, E.; LEAL, P. A. M.; CARMO JUNIOR, R. R. Modelo de simulação da temperatura e umidade relativa do ar no interior de estufa plástica. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, SP, v. 24, n. 1, p. 57-67, 2004.

COSTA, T. P. D.; PARANATINGA, I. L. D.; PEREIRA, R. J. B.; SANTOS, F. C.; OLIVEIRA, P. C. Avaliação do crescimento de plantas jovens de milho cultivadas em diferentes tipos de solo. **Scientific Eletronic Archives**, v. 12, n. 1, p. 10-14, 2019.

COTTA, S. R. O solo como ambiente para a vida microbiana. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do Solo.** 2. ed. Piracicaba, SP: Esalq, 2016. cap. 2. p. 23-36.

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D.G. **Methods for Evaluating Irrigation Systems.** Washington, DC: Soil Conservation Service - USDA, Agricultural Handbook, n. 82, 1956.

CUNHA, A.R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel-SP. **Revista Irriga**, Botucatu, SP, v.14, n.1, p.1-11, 2009.

DARBY, H. **Fertility guidelines for hops in the Northeast.** Vermont: University of Vermont Extension, 2011.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 13. p. 327-354.

DE KEUKELEIRE, D.; DE COOMAN, L.; RONG, H.; HEYERICK, A.; KALITA, J.; MILLIGAN, S. R. Functional properties of hop polyphenols. **Plant Polyphenols,** Springer, v. 66, n. 2, p. 739-760, 1999.

DE KEUKELEIRE, J.; JANSSENS, I.; HEYERICK, A.; GHEKIERE G.; CAMBIE, J.; RUIZ, I. R.; BOCKSTAELE, E. V.; KEUKELEIRE, D. D. Relevance of organic farming and effect of climatological condictions on the formation of α-Acid, β-Acids, desmethylxanthohumol, and xanthohumol in hop (*Humulus lupulus* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 1, p. 61-66, 2007.

DELMULLE, L.; BELLAHCÈNE, A.; DHOOGE, W.; COMHAIRE, F.; ROELENS, F.; HUVAERE, K.; DE KEUKELEIRE, D. Anti-proliferative properties of prenylated flavonoids from hops *(Humulus lupulus* L*.)* in human prostate cancer cell lines. **Phytomedicine***,* v. 13, n. 9-10, p. 732–734, 2006.

DE NOBILE, F. O.; GALBIATTTI, J. A.; MURAISHI, R.; RIBEIRO, A. G.; FREDDI, O. S. Quantificação de macronutrientes no solo e em folhas de cana-de-açúcar em função de doses de resíduo da mineração de bauxita. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.30, n.1, p.168-178, 2010.

DE SÁ, A. A. **Influência da aplicação de boro na qualidade e no rendimento de maçãs**. 2011. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Agroveterinárias, Lages, 2011.

DIAS, L. W.; BRUNES, A. P.; MARTINS, A. B. N.; XAVIER, F. M.; RADKE, A. K. Teor de clorofila e carotenóides de sementes de alface com e sem *priming* revestidas com diferentes colorações. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, GO, v.13 n.24; p. 1027-1033, 2016.

DING, J.; YANG, T.; ZHAO, Y.; LIU, D.; WANG, X.; YAO, Y.; PENG, S.; WANG, T.; PIAO, S. Increasingly Important role of atmospheric aridity on Tibetan alpine grasslands. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 6, p. 2852–2859, 2018.

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

DOMINGUES, T. F.; MEIR, P.; FELDPAUSCH, T. R.; SAIZ, G.; VEENENDAAL, E. M.; SCHRODT, F.; BEID, M.; DJAGBLETEY, G.; HIEN, F.; CAMPAORE, H.; DIALLO, A.; GRACE, J.; LLOYD, J. Co-limitation of photosynthetic capacity by

nitrogen and phosphorus in West capacity by nitrogen and phosphorus in West Africa Woodlands. **Plant, Cell and Environment,** Oxford, v. 33, n. 6, p. 959-980, 2010.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K. & BACCHI, O.O.S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

DURELLO, R. S.; SILVA, L. M.; BOGUSZ JÚNIOR, S. Química do lúpulo. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 42, n.8, p. 900-919, 2019.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011.

ERKKOLA, R., VERVARCKE, S., VANSTEELANDT, S., ROMPOTTI, P., DE KEUKELEIRE, D., HEYERICK, A. A randomized, double-blind, placebo-controlled, cross-over pilot study on the use of a standardized hop extract to alleviate menopausal discomforts. **Phytomedicine.** v. 17, n. 6, p. 389-96, 2010.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 9. p. 551-594.

EVANS, R. **Hop Management in Water-Short Periods.** 2003. Disponível em: <http://www.willingham-nurseries.co.uk/books/Hops/em4816.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

EVANS, J. R. Improving Photosynthesis. **Plant Physiology**, v. 162, n. 4, p. 1780–1793, 2013.

FAGHERAZZI, M. M.; SANTOS, M. F. S.; SANTOS, K. V. T.; RUFATO, L. Análise de custo de implantação de lúpulo na região do planalto sul catarinense. **Revista da 15ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa - CONGREGA,** v. 15, n. 15, 2018.

FANDIÑO, M.; OLMEDO, J. L.; MARTÍNEZ, E. M.; VALLADARES, J.; PAREDES, P.; REY, B. J.; MOTA, M.; CANCELA, J. J.; PEREIRA, L. S. Assessing and modelling water use and the partition of evapotranspiration of irrigated hop (*Humulus Lupulus*), and relations of transpiration with hops yield and alpha-acids. **Industrial Crops and Products**, v. 77, p. 204–217, 2015.

FARAG, M. A.; WESSJOHANN, L. A. Cytotoxic effect of commercial *Humulus lupulus* L. (hop) preparations: In comparison to its metabolomic fingerprint. Cairo, **Journal of Advanced Research**, v. 4, n. 4, p. 417-421, 2013.

FERREIRA, A. K. C. **Avaliação de métodos de análises químicas de nutrientes em tecido vegetal.** 2014. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal do Semi-árido, Mossoró, 2014.

FILHO, V.; GASTONI, W. **Bebidas alcoólicas: Ciência e Tecnologia.** 2 ed. São Paulo, SP: Blucher. 2016.

FLETCHER, A. L.; SINCLAIR, T. R.; ALLEN JÚNIOR, L. H. Transpiration responses to vapor pressure deficit in well-watered 'slow-wilting' and commercial soybean. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 2, p.145–151, 2007.

FLYTHE, M. D.; AIKEN, G. E.; GELLIN, G. L.; KLOTZ, J. L.; GOFF, B. M.; ANDRIES, K. M. Hops (*Humulus lupulus*) ß-Acid as an Inhibitor of Caprine Rumen Hyper Ammonia-Producing Bacteria *In Vitro*. **Agriculture, Food and Analytical Bacteriology Journal**, v. 5, n. 1, p. 29-36, 2015.

FORTESCHI, M.; PORCU, M. C.; FANARI, M.; ZINELLU, M.; SECCHI, N.; BUIATTI, S.; PASSAGHE, P.; BERTOLI, S.; PRETTI, L. Quality assessment of Cascade hop (*Humulus lupulus* L.) grown in Sardinia. **European Food Research and Technology**, v. 245, n. 4, p. 863–871, 2019.

FRIC, V. *et al.* **Hop Production.** Amsterdam: Elsevier Science, 1991. 286 p. (Developments in Crop Science (Book 16).

GARGANI, E.; FERRETTI, L.; FAGGIOLI, F.; HAEGI, A.; LUIGI, M.; LANDI, S.; SIMONI, S.; BENVENUTTI, C.; GUIDI, S.; SIMONCINI, S.; D´ERRICO, G.; AMORIELLO, T.; CICCORITTI, R.; ROVERSI, P. F.; CARBONE, K. A survey on pests and diseases of Italian Hop crops. Review n. 32. **Italus Hortus**, v. 24, n. 2, p. 1-17, 2017: 1-17.

GETTY, B. A. **Induced mutation for improving cascade and centennial hop**. 2019. Dissertation (Master of Science in Crop Science) – Oregon State University, Oregon, 2019.

GLANZNER, A. L.; SILVA, D. M. A formação de sais no desenvolvimento de fármacos. **Revista Átomo**, Curitiba, PR, v. 1, n. 8, p. 1-16, 2010.

GÓMEZ LUCAS, N.; PEDREÑO, M. B. **Aguas de riego: *Análisis e interpretación***. Alicante: Universidad de Alicante, 1992.

GRAF, T.; BECK, M.; PORTNER, J.; BAUMGARTNER, A.; MAUERMEIER, M.; ISMANN, D.; MAIER, M.; SCHMIDHALTER, U. A new approach for predicting the water balance of hops. **Acta Horticulturae**, v. 1236, n. 0, p. 63-74, 2019.

GU, Z.; QI, Z.; MA, L.; GUI, D.; XU, J.; FANG. Q.; YUAN, S.; FENG, G. Development of an irrigation scheduling software based on model predicted crop water stress. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 143, p. 208–22, 2017.

HERRERA-RODRÍGUEZ, M. B.; GONZÁLEZ-FONTES, A.; REXACH, J.; CAMACHO-CRISTÓBAL, J.J.; MALDONADO, J.M.; NAVARRO-GOCHICOA, M. T. Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stresses. **Plant Stress**, v.4, n. 1, p. 115-122, 2010.

HNILICKOVA, H., NOVAK, V. Changes in energy content in vegetative and generative hop organs (*Humulus lupulus* L.) during vegetation. **Scientia Agriculturae Bohemica,** v. 31, n. 4, p. 241-248, 2000.

HU, H.; BROWN, P. H. Absortion of boron by plant roots. **Plant and Soil,** Dordrecht, v. 193, n.1/2, p. 49-58,1997.

International Hop Growers Convention. Economic Commission - Summary Reports. **Hop Production in 2018.** 2019. Disponível em: <http://www.hmelj-giz.si/ihgc/doc/2019%20APR%20IHGC%20EC%20Report_final.pdf>. Acesso em: 21 out. 2019.

INUI T., OKUMURA K., MATSUI H., HOSOYA T., KUMAZAWA S. Effect of harvest time in some in vitro functional properties of hop polyphenols. **Food Chemistry,** v. 225, p. 69-76, 2017.

JACKSON, D.; SIEGLE, L.; SCOGGNS, H. **Irrigation considerations for commercial hop producers.** Virginia Tech: Virginia Cooperative Extension, 2019.

JARVIS, S.C. Copper concentrations in plants and their relationship to soil properties. In: LONERAGAN, J.F.; ROBSON, A.D.; GRAHAM, R. D. **Copper in soils and plants**. Sydney: Academic Press, 1981. p. 265-285.

JIA, Y.; YANG, X.; ISLAM, E.; FENG, Y. Effects of potassium deficiency on chloroplast ultrastructure and chlorophyll fluorescence in inefficient and efficient genotypes of rice. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 12, p. 2105-2118, 2008.

JIN, S. H.; HUANG, J. Q.; LI, X.Q.; ZHENG, B. S.; WU, J. S.; WANG, Z. J.; LIU, G. H.; CHEN, M. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in Carya cathayensis, **Tree Physiology**, v. 31, n. 10, p. 1142-1151, 2011.

LANA, R. M. Q.; OLIVEIRA, S. A.; LANA, A. M. Q.; FARIA, M. V. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1147-1156, 2010.

LU, Y.; HU, Y.; LI, P. Consistency of electrical and physiological properties of tea leaves on indicating critical cold temperature. **Biosystems Engineering**, v. 159, p. 89–96, 2017.

LOBELL, D. B. ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W.; BRAUN, N.; LITTLE, B. B.; REJESUS, R. M.; HAMMER, G. L. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the U.S. **Midwest. Science***,* v. 344, n. 6183, p. 516–519*,* 2014.

KARABIN, M.; HUDCOVA, T.; JELINEK, L.; DOSTALEK, P. Biotransformations and biological activities of hop flavonoids. **Biotechnology Advances.** v. 33, n. 6, p. 1063-1090, 2015.

KARABIN, M.; HUDCOVA, T.; JELINEK, L.; DOSTALEK, P. Biologically active compounds from hops and prospects for their use. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,** v. 15, n. 3, p. 542–567, 2016.

KOBUS-CISOWSKA, J.; SZYMANOWSKA-POWAŁOWSKA, D.; SZCZEPANIAK, O.; KMIECIK, D.; PRZEOR, M.; GRAMZA-MICHAŁOWSKA, A.; CIELECKA-PIONTEK, J.; SMUGA-KOGUT, M.; SZULC, P. Composition and vitro effects of cultivars of *Humulus lupulus* L. hops on cholinesterase activity and microbial growth. **Nutrients**, v.11, n. 6, p. 1-14, 2019.

KOETTER, U.; BIENDL, M. Hops (*Humulus lupulus*): A review of its historic and medicinal uses. **HerbalGram**, v. 87, p. 44–57, 2010.

KROFTA, K.; KUČERA, J. Mathematical model for prediction of yield and alpha acid contents from meteorological data for Saaz aroma variety. **Acta Horticulturae**, v. 848, n. 1, p.131–139, 2009.

LAFUENTE, M. T., BELVER, A., GUYE, M. G., SALVEIT, M. E. Effect of the temperature conditioning on chilling injury of cucumber cotyledons. **Plant Physiology**, v. 95, n. 2, p. 443-449, 1991.

LEE, D.W., BREMMEIER, S., SMITH, A.P. The selective advantage of anthocyanins in developing leaves of mango and cacao. **Biotropica**, v. 19, n. 1, p. 40-49, 1987.

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

LILLIAN, C.; BECKER, M. S. **Safety assessment of *Humulus lupulus* (Hops) - Derived ingredients as used in cosmetics**, Cosmetic Ingredient Review, 2016.

MAHAFEE, W. F.; PETHYBRIDGE, S. J.; GENT, D. H. **Compendium of hop diseases and pests.** St. Paul: American Phytopathological Society, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo, SP: Ceres, 2006.

MARCOS, J. A. M.; NADAL, J. L. O.; ANDIÓN, J. P.; ALONSO, J. V.; RAMISQUIDO, J. M. G. P.; PAZ, J. F. **Guia del cultivo del lúpulo**. Galícia, ESP: Centro Investigaciones Agrarias de Mabegondo, 2011.

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. 15 p. (Circular Técnica, 57).

MANTOVANI, E. C. **Avalia:** Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MARQUES, D. M. **Morfofisiologia de espécies arbóreas expostas ao cobre.** 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press Inc., 1986.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 3.ed. London: Elsevier, 2012.

MATEOS-NARANJO, E.; REDONDO-GÓMEZ, S.; CAMBROLLÉ, J.; FIGUEROA, M. E. Growth and photosynthetic responses to copper stress ofan invasive cordgrass, Spartina densiflora. **Marine Environmental Research**, v. 66, n. 4, p. 459-465, 2008.

MELO, R. M. VIEIRA, M. C.; CARNEVALI, T. O.; GONÇALVES, W. V.; TORALES, E. P.; TOLOUEI, S. E. L.; SANTOS, C. C. Calagem e textura do substrato afetam o desenvolvimento de *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42 n. 1, p. 99-108, 2019.

MENEGHELLI, C. M.; LO MONACO, P. A. V.; CORREA, J. M.; BIRCHLER, R.; LOSS, J. B. Qualidade da água do Rio Santa Maria do Doce – ES para fins de irrigação. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, GO, v.13 n.24; p. 878 – 889, 2016.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 2. p. 65-90.

MIDDLETON, J. E. **Irrigation needs of hops.** Washington, D.C: Washington Agricultural Experiment Stations, Institute of Agricultural Sciences, Washington State University, 1963. 7 p. (Circular 417**)**.

MONTEIRO, P. C. L. **Estudo da influência da interação solo-líquido nas características de compressibilidade e colapso de um arenito pleistocênico.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2005.

MONTEIRO, A. P. **Produção de cervejas especiais adicionadas de extratos solúveis de ervas nativas com propriedades antioxidantes.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

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.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

NAGLIČ, B.; CVEJIĆ, R.; PINTAR, M. **Pregled objav s področja namakanja hmelja (*Humulus lupulus* L.) na porečju Savinje**. Žalec, Slovenija: Slovenian Institute of Hop Research and Brewing, 2016. 15 p. (Hmeljarski bilten 23).

NAGLIČ, B.; CVEJIĆ, R.; PINTAR, M. **Vodenje namakanja hmelja (*Humulus lupulus* L.): Pregled.** Žalec, Slovenija: Slovenian Institute of Hop Research and Brewing, 2017. 26 p. (Hmeljarski bilten 24).

NAKAWUKA, P. **Effect of deficit irrigation on yield, quality and grower returns of native spearmint and hops in Washington State.** 2013. Thesis (PhD in Philosophy) – Faculty of Washington State University, Washington, 2013.

NAKAWUKA, P.; PETERS, T. R.; KENNY, S.; WALSH, D. Effect of deficit irrigation on yield quantity and quality, water productivity and economic returns of four cultivars of hops in the Yakima Valley, Washington State. **Industrial Crops and Products**, v. 98, p. 82-92, 2017.

NEVE, R. A. **Hops.** Bury St Edmunds: Springer – Science + Business Media, 1991.

NOLLA, A.; SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo de campo natural. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 37 n.1, 2007.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação Solo-Planta. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 4. p. 133-204.

OCVIRK, M.; GRDADOLNIK, J.; KOŠIR, I. J. Determination of the botanical origin of hops (*Humulus lupulus* L.) using different analytical techniques in combination with statistical methods. **Journal of the Institute of Brewing**. v. 122, n. 3, p. 452–461, 2016.

OCVIRKA, M.; NEČEMER, M.; KOŠIR, J. I. The determination of the geographic origins of hops (*Humulus lupulus* L.) by multi-elemental fingerprinting. **Food Chemistry**, v. 277, p. 32–37, 2019.

OLIVEIRA, M. V. R. **Crescimento do lúpulo influenciado por calagem e fornecimento de fósforo.** 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

PATERNIANI, J. E. S.; PINTO, J. M. Qualidade da água. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba, SP: FUNEP/SBEA, 2001, v. 1, p. 195-253.

PATZAK, J.; KROFTA, K.; HENYCHOVÁ, A.; NESVADBA, V. Number and size of lupulin glands, glandular trichomes of hop (*Humulus lupulus* L.), play a key role in contents of bitter acids and polyphenols in hop cone. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 8, p. 1864-1872, 2015.

PAVLOVIC, V.; PAVLOVIC, M.; CERENAK, A.; KOSIR, I. J.; CEH, B.; ROZMAN, C.; TURK, J.; PAZEK, K.; KROFTA, K.; GREGORIC, G. Environment and weather influence on quality and market value of hops. **Plant Soil Environ**., v. 58, n. 4, p. 155-160, 2012.

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.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e práticas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, GO, v. 7, n.13, p. 51-76, 2011.

PEREIRA, G. P.; ZANETTE, F.; BIASI, L. A.; CARVALHO, R. I. N. Atividade respiratória de meristemas apicais de ramos plagiotrópicos de *Araucaria angustifólia* (Bertol.) Kuntze. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 26, n.1, p. 203-211, 2016.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água.** Seropédica, RJ: EDUR - Editora Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004.

PINTO, M. B. C. **Isomerização de ácidos amargos de lúpulo Cascade cultivado no Brasil e seu desempenho durante a fermentação da cerveja.** 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

PRADOS, N. C.. **Invernaderos de plástico.:** Tecnologia y manejo. 2. ed. Madrid: Mundi-prensa, 2007.

PRADO, R. de M. Potássio. In: PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. São Paulo, SP: UNESP, 2008. p.161-181.

PRADO, J. L. **Uso de antibióticos convencionais e antimicrobianos a base de lúpulo no controle de infecções bacteriana em fermentação alcoólica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2014.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas, SP: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria, 2016. Disponível em: http://www.R-project.org/. Acesso em: 11 janeiro 2020.

RESTAINO, C. M.; PETERSON, D. L.; LITTELL, J. Increased water deficit decreases Douglas fir growth throughout western US forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 34, p. 9557–9562, 2016.

RETTBERG, N.; BIENDL, M.; GARBE, L. A. Hop aroma and hoppy beer flavor: chemical backgrounds and analytical tools - A Review. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**. v. 76, n. 1, p. 1-20, 2018.

RIBEIRO, P. H. **Caracterização e tratamento de águas residuárias do processamento de batatas.** 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK. C.A., EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; CLARK, F.E. **Methods of soil analysis - physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison, ASA/SSSA, p.128-152, 1965.

ROBERTS, T R. Hops. In: BAMFORTH, C. W. et al. **Brewing Materials and Processes: A Practical Approach to Beer Excellence**. Salt Lake City: Academic Press, 2016. cap. 3. p. 47-75.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, S. Condições hidrológicas de uma bacia hidrográfica com diferentes usos do solo na região de Taquaritinga, SP. **Irriga,** Botucatu, SP, v. 14, n. 2, p. 158-169, 2009.

RODRIGUES, M. A.; MORAIS, J. S.; CASTRO, J. P. M. **Jornadas de lúpulo e cerveja: novas oportunidades de negócios.** 1 ed. Bragança, POR: Instituto Politécnico de Bragança, 2015.

ROELFSEMA, M. R.; HEDRICH, R. In the light of stomatal opening: new insights into 'the Watergate'. **New Phytologist**, v. 167, n. 3, p. 665–691, 2005.

ROSSINI, F.; LORETI, P.; PROVENZANO, M. E.; SANTIS, D.; RUGGERI, R. Agronomic performance and beer quality assessment of twenty hop cultivars grown in Central Italy. **Italian Journal of Agronomy**, v. 11, n. 746, p. 180-187, 2016.

SALOMÃO, L. C. Uniformidade do Sistema de Irrigação. In: SOUZA, T. R.; VILLAS BOAS, R. L.;SAAD, J. C. C**. Aspectos práticos da Fertirrigação**. 1. ed. Botucatu, SP: FEPAF, cap. 3, p. 13-17, 2008.

SANGAKKARA, U.R.; FREHNER, M.; NÖSBERGER, J. Influence of soil moisture and fertilizer potassium on the vegetative growth of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.186, n. 2, p.73-81, 2001.

SANTOS, L. L.; JUNIOR, S. S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, MT, v.8, n.1, p.83-93, 2010.

SANTOS, G. A. **Formas de adição de micronutrientes a um formulado NPK e seu efeito sobre o desenvolvimento do milho.** 2013. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

SANTOS, F. C.; RODRIGUES, S. C. Variabilidade espacial físico-química de materiais superficiais sob uma vertente de Cerrado em estágio de recuperação. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 48, p. 200-209, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHMIDT, M. A.; NELSON, M. L.; MICHAL, J. J.; WESTBERG, H. H. Effects of hop acids. II. Beta acids on ruminal methane emission, protozoal population, fermentation, and CoM concentration in cannulated finishing steers. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 1, p. 240-240, 2006.

SCHÖNBERGER, C., & KOSTELECKY, T. 125th Anniversary Review: The role of hops in brewing. Journal of the Institute of Brewing, v. 117, n. 3, p. 259–267, 2011.

SCHROEDER, J. I.; ALLEN, G. J.; HUGOUVIEUX, V.; KWAK J. M.; WANER D. Guard cell signal transduction. **Annual Review of Plant Physiolgy and Plant Molecular Biology**, v.52, n. 1, p.627–658, 2001.

SEEMANN, J. Greenhouse Climate. In: SEEMANN, J. et al. **Agrometeorology.** New York: Springer-verlag, 1979. cap. 10. p. 165-178.

SILVA, E. T.; BYLLARDT, L. V. B.; GOMES, S.; WOLF, G. D. Comportamento da temperatura do ar sob condições de cultivo em ambiente protegido. **Ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, PR, v. 1, n. 1, p. 51-54, 2003.

SILVA, I. N.; FONTES, L. O.; TAVELLA, L. B.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade da água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semi-Árido,** v. 7, n. 3, p. 1-15, 2011.

SILVA, I. M. C. B. Métodos de preparação industrial de solventes químicos e reagentes químicos. **Revista Virtual de Química**, v. 4, n. 1, 2012.

SILVA, J. B. G.; MARTINEZ, M. A.; PIRES, S. C.; ANDRADE, I. P. S.; SILVA, G. T. Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite. **Revista Irriga**, Botucatu, SP, Edição especial, v. 1, n. 1, p. 250 - 263, 2012a.

SILVA, L. S. POCOJESKI, E.; CERETTA, C. A.; BUNDT, A. C.; KAEFER, S.; MARCHESAN, E. Teores de macronutrientes em cultivares de arroz irrigado de acordo com a parte da planta analisada e do estádio de desenvolvimento. **Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n. 4, 2012b.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORINO,H. S.; RHEIN,A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SILVA, H. R. **Estudo do efeito de novas técnicas de lupulização no tempo de prateleira da cerveja artesanal.** 2015. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Biológica) – Universidade de Minho, Minho, 2015.

SILVA, E. V. **Distribuição de fósforo, potássio e enxofre no solo em função do modo de aplicação dos fertilizantes na cultura da soja.** 2016. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade De Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, Cuiabá, 2016.

SILVA, A. M. **Adubação com potássio e boro sobre a produtividade, qualidade do fruto e teor de prolina em laranjeira 'Pêra'.** 2016. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências Agrárias, Manaus, 2016.

SILVA, C. T. D. **Caracterizações químicas dos primeiros cultivares de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) produzidos no Brasil.** 2019. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal do Espirito Santo, Centro de Ciências Exatas, Naturais e de Saúde, Alegre, 2019.

SMALL, E. A numerical and nomenclatural analysis of morpho-geographic taxa of *Humulus*. **Systematic Botany**, v. 3, n. 1, p. 37-76, 1978.

SOUSA, J. S. **Análise foliar para ajuste da recomendação de adubação do cafeeiro.** 2016. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SOUZA, J. A.; CANESIN, R. C. F. S.; BUZETTI, S. Mobilidade de boro em mudas de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 34, n. 3, p. 930-935, 2012.

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).

SREČEC, S.; KVATERNJAK, I.; KAUČIĆ, D.; MARIĆ, V. Dynamics of hop growth and accumulation of α–acids in normal and extreme climatic conditions. **Agricultural Conspectus Scientificus**, v. 69, n. 2-3, p. 59-62, 2004.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas**. Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

STURIÃO, W. P. **Efeitos fitotécnicos e anatômicos da disponibilidade de cálcio e boro em tomateiro do grupo cereja.** 2017. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

SYSTAT SOFTWARE Inc. **SigmaPlot 12**. Systat Software Incorporated, 2010. Disponível em: http:// http://www.sigmaplot.co.uk/products/products.php. Acesso em: 11 janeiro 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre, RJ: Artmed, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M. MURPHY, A**. Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, RJ: Artmed, 2017.

TEGHTMEYER, S. Hops. **Journal of Agricultural & Food Information**, v. 19, n. 1, p. 9-20, 2018.

TOMBESI, S.; NARDINI, A.; FRIONI, T.; SOCCOLINI, M.; ZADRA, C.; FARINELLI, D.; PALLIOTTI, A. Stomatal closure is induced by hydraulic signals and maintained

by ABA in drought-stressed grapevine. **Nature Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 12449, 2015.

TROMMER, M. W. **Avaliação do ciclo de vida no processo de produção da cerveja.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Santa Barbara D´oeste, 2014.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. S. **Meteorologia descritiva**: **fundamentos e aplicações brasileiras**. 1. ed. São Paulo, SP: Nobel, 1988.

TURNER, S. F.; BENEDICT, C. A.; DARBY, H.; HOAGLAND, L. A.; SIMONSON, P.; SERINE, J. R.; MURPHY, K. M. Challenges and opportunities for organic hop production in the United States. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 6, p. 1645-1654, 2011.

VALADARES, R. V.; VALADARES, S. V.; FERNADES, L. A.; SAMPAIO, R. A. Teores de nutrientes no solo e nutrição mineral do milho em áreas irrigadas com água calcária. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 27, n. 3, p.169-176, 2014.

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 GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VIANA, P. L.; GIL, A. S. B. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Cannabaceae. **Rodriguésia,** v. 69, n.1, p. 49-51, 2018.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F.. Cálcio, magnésio e enxofre. In: SILVESTRE, M. **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 12. p. 299-326.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WANG, Y.; CHAVES, A. V.; RIGBY, F. L.; HE, M. L.; MCALLISTER, T. A. Effects of hops on ruminal fermentation, growth, carcass traits and shedding of *Escherichia coli* of feedlot cattle. **Livestock Science**, v 129, n 1-3, p. 135-140, 2010.

WAMPLE, R. L.; FARRAR, S. L. Yield and quality of furrow and trickle irrigated hop (*Humulus lupulus* L.) in Washington State. **Agricultural Water Management**, v. 7, n. 4, p. 457-470, 1983.

WARREN, C. R. How does P affect photosynthesis and metabolite profiles of Eucalyptus globules? **Tree Physiology**, Victoria, v. 31, n. 7, p. 727-739, 2011.

WIJEWARDANA, C.; HENRY, W. B.; HOCK, M. W.; REDDY, K. R. Growth and physiological trait variation among corn hybrids for cold tolerance. **Canadian Journal of Plant Science,** v. 96, n. 1, p. 639–656, 2016.

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, Ottawa, v. 27, n. 11, p. 565-583, 1947.

WILLIAMS, P. *et al.* Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. **Nature Climate Change**, v 3, n. 3, p. 292–297, 2012.

YAN, D.; WONG, Y. F.; SHELLINE, R. A.; MARRIOTT, P. J.; WHITTOCK, S. P.; KOUTOULIS, A. Assessment of the phytochemical profiles of novel hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars: A potential route to beer crafting. **Food Chemistry**. V. 275, p. 15–23, 2019.

YUAN, W.; ZHENG, Y.; PIAO, S.; CIAIS, P.; LOMBARDOZZI, D.; WANG, Y.; RYU, Y.; CHEN, G.; DONG, W.; HU, Z.; JAIN, A. K.; JIANG, C.; KATO, E.; LI, S.; LIENERT, S.; LIU, S.; NABEL, J. E. M. S.; QIN, Z.; QUINE, T.; SITCH, S.; SMITH, W. K.; WANG, F.; WU, C.; XIAO, Z.; YANG, S. Increased atmospheric vapor pressure deficit reduces global vegetation growth. **Science Advances**, v. 5, n. 8, p. 1-12, 2019.

ZHAO, F. J.; MA, J. F.; MEHARG, A. A.; MCGRATH, S. P. Arsenic uptake and metabolism in plants. **New Phytologist***,* v. 181, n. 4, p. 777–794, 2009*.*

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